



Профессор
Игорь Н. Бекман

ИНФОРМАТИКА

Курс лекций

Лекция 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНФОРМАТИКА

Наука информатика возникла сравнительно недавно, так что ни её определение, ни цели, ни задачи до сих пор не определены. Часто эту науку путают то с компьютерными науками, то с кибернетикой, то с теорией вычислений. Не меньшая путаница царит в определениях информационной и компьютерной технологий.

Мы здесь под информатикой будем понимать науку об общих свойствах информации, закономерностях и методах её поиска и получения, хранения, передачи, переработке, распространения в квантовых системах, во вселенной, в растительном и животном мире, а также науку о способах её использования для решения задач термодинамики, молекулярной физики.

В данной лекции мы рассмотрим историю информатики, её структуру и направления развития. Упомянем мы и о применении информационных наук и технологий в различных видах человеческой деятельности.

1. НАУКИ ОБ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время известно около 500 определений термина «информация», но ни одного – исчерпывающего. Более того, поскольку теперь информация воспринимается как основная сущность мироздания (наряду с веществом и энергией), то её вообще нельзя определить в каких-либо простых терминах. Ни сейчас, ни в будущем.

Термина «информация» нет, но есть наука «Информатика» и раздел индустрии «Информационные технологии», в которых изучается и используется некая субстанция - информация.

Информатику и информационную технологию часто путают друг с другом и с такими науками как «компьютерная наука», «кибернетика», «вычислительная математика» и с такой технологией, как «компьютерная технология». Конечно, все эти науки и технологии имеют дело с информацией, но науки эти разные. Остановимся на терминологии подробнее.



1.1 Информационные технологии

Типичный пример путаницы в умах – определение даваемое энциклопедией «Википедия», где компьютерные и информационные технологии оказываются синонимами:

Компьютерные технологии или **Информационные технологии** - обобщённое название технологий, отвечающих за хранение, передачу, обработку, защиту и воспроизведение информации с использованием компьютеров. Невозможно представить себе современные области производства, науки, культуры, спорта и экономики, где не применялись бы компьютеры. Компьютеры помогают человеку в работе, развлечении, образовании и научных исследованиях. Компьютерные технологии - это передний край науки XXI века. *(Здесь особенно мило, что технология, оказывается, край науки! Несмотря на свою неразвитость, компьютерные технологии, действительно*

помогают человеку, но и грабли помогают садоводу. А следует ли отсюда, что садоводство – технология выращивания граблей?!).

Существуют определение информационных технологий, в котором компьютеры упоминаются лишь между прочим, например:

Информационные технологии (ИТ) - широкий класс дисциплин и областей деятельности, относящихся к технологиям управления и обработки данных, в том числе, с применением вычислительной техники. До недавнего времени под информационными технологиями чаще всего понимали компьютерные технологии, поскольку обычно информационные технологии имеют дело с использованием компьютеров и программного обеспечения для хранения, преобразования, защиты, обработки, передачи и получения информации. Сейчас спецов по компьютерной технике и программированию называют ИТ-специалистами.

К этому типу определений можно отнести определение, принятое ЮНЕСКО:

Информационные технологии - комплекс взаимосвязанных, научных, технологических, инженерных дисциплин, изучающих методы эффективной организации труда людей, занятых обработкой и хранением информации; вычислительную технику и методы организации и взаимодействия с людьми и производственным оборудованием, их практические приложения, а также связанные со всем этим социальные, экономические и культурные проблемы. Сами ИТ требуют сложной подготовки, больших первоначальных затрат и наукоемкой техники. Их введение должно начинаться с создания математического обеспечения, формирования информационных потоков в системах подготовки специалистов. Отрасль информационных технологий занимается созданием, развитием и эксплуатацией информационных систем.

Существуют, наконец, определения информационной технологии, в которых компьютеры не упоминаются вовсе, например

Информационная технология - совокупность конкретных средств, с помощью которых человек выполняет разнообразные операции по обработке информации во всех сферах своей жизни и деятельности.

Информационная технология - совокупность методов, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации. Информационные технологии предназначены для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов.

Именно так мы и будем понимать информационную технологию в данном курсе лекций. В этом смысле информационная технология - просто прикладная информатика.

Информационная технология включает в себя такие компоненты, как информатика, компьютерные технологии, Интернет и Всемирная паутина, Веб-разработки, управление данными, добыча и хранение данных, базы данных, информационная архитектура, информационная безопасность, криптография, системная интеграция, искусственный интеллект и др. Здесь выделяют такие направления, как: теоретическая информатика, кибернетика, программирование, искусственный интеллект, информационные системы, вычислительная техника, информатика в обществе, информатика в природе, информация в науке и технике. Термином информатика обозначают совокупность дисциплин, изучающих свойства информации, а также способы представления, накопления, обработки и передачи информации с помощью технических средств.

Перечислим некоторые реализации информационных технологий, используя традиционные сокращения.

АСУ – автоматизированные системы управления – комплекс технических и программных средств, которые во взаимодействии с человеком организуют управление объектами в производстве или общественной сфере.

АСУТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами. Например, такая система управляет работой станка с числовым программным управлением (ЧПУ), процессом запуска космического аппарата и т.д.

АСНИ – автоматизированная система научных исследований – программно-аппаратный комплекс, в котором научные приборы сопряжены с компьютером, вводят в него данные измерений автоматически, а компьютер производит обработку этих данных и представление их в наиболее удобной для исследователя форме.

АОС – автоматизированная обучающая система. Есть системы, помогающие учащимся осваивать новый материал, производящие контроль знаний, помогающие преподавателям готовить учебные материалы и т.д.

САПР-система автоматизированного проектирования – программно-аппаратный комплекс, который во взаимодействии с человеком (конструктором, инженером-проектировщиком, архитектором и т.д.) позволяет максимально эффективно проектировать механизмы, здания, узлы сложных агрегатов и др.

Упомянем также диагностические системы в медицине, системы организации продажи билетов, системы ведения бухгалтерско-финансовой деятельности, системы обеспечения редакционно-издательской деятельности – спектр применения информационных технологий чрезвычайно широк.

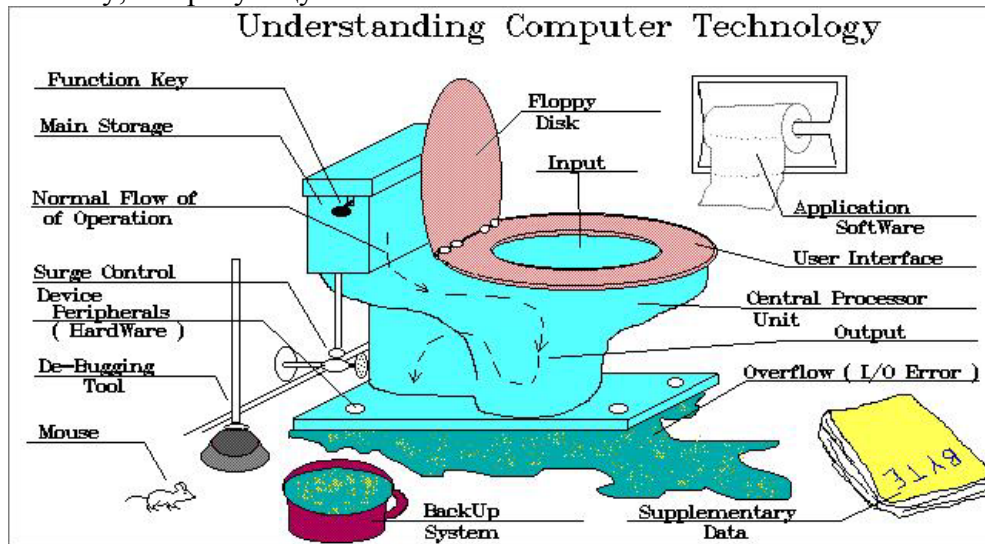
В настоящее время информационные технологии развиваются в направлении создания нейронных сетей и специальных методов эволюционных вычислений на основе более мелких «неинтеллектуальных» элементов, т.е. систем, по мере возможности (весьма ограниченной!), копирующих биологические системы.

1.2 Компьютерные науки и технологии

Слово «компьютер» означает буквально «вычислитель» и сегодня им обозначают электронные вычислительные машины (*далеко не все современные вычислительные машины, используют в своей работе электроны например,, известны компьютеры, работающие на элементах струйной автоматики, где рабочее вещество информации газ; накопилось уже много типов безэлектронных вычислительных машин, причём число их быстро растёт и не исключено, что в будущем слово «электронные» вообще выпадет из определения вычислительных машин*). Компьютеры – прежде всего вычислители, и задача компьютерной науки – повышение эффективности расчётов. Конечно, компьютеры используют информацию, но она для них – не главное, главное – аппаратура и алгоритмы (*а обмен информацией можно провести и без компьютеров, теми же мобильниками, к примеру, не говоря уж о передаче мыслей на расстояние*).

Различие с информационными технологиями очевидно из перечисления компонентов компьютерных наук: программное обеспечение и его структура, алгоритмы, операционные системы и их функции, данные, файлы и вычислительные программы, файловая система, интерфейс пользователя, графический и текстовый редакторы, электронные таблицы, системы управления базами данными, локальные и глобальные компьютерные сети и др.

В настоящее время, по эффективности переработки информации, электронно-вычислительные машины кардинально уступают биологическим системам (*до уровня освоения информации муравьём, компьютеру ещё пахать и пахать*), но, возможно, внедрение в широкую практику квантовых компьютеров изменит эту ситуацию к лучшему (*конечно, если идею квантового компьютера кому-то когда-то удастся реализовать*). С другой, стороны сейчас явно началось вытеснение компьютеров из информатики, так что развитие науки и техники в дальнейшем скорее всего приведёт к переходу информационных технологий на технику, не требующую использования вычислительных машин.



1.3 Кибернетика

Довольно долго (особенно в России) под информационными технологиями понимали кибернетику, так что даже историю развития информатики излагали как историю кибернетики. Теперь, однако, информационная технология и кибернетика размежевались окончательно.

Кибернетика (от греч. *Κυβερνήτης* - «кормчий», «искусство управления», - «правляю рулём, управляю») - наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе.

В теории информации термин кибернетика впервые был предложен Норбертом Винером в 50-х годах. Он определял её как «науку о связи и управлении в машине и организме». С. Бир назвал её наукой

эффективной организации, а Г. Пак расширил определение, включив потоки информации «во все медиа», начиная со звёзд и заканчивая мозгом.

Замечание. Слово Кибернетика сначала упоминалось в контексте «исследования самоуправления» Платоном в «Законах», для обозначения управления людьми. Слово «*cybernétique*» использовалось почти в современном значении в 1830 французским физиком, систематизатором наук Андре Ампером (1775-1836), для обозначения науки управления в его системе классификации человеческого знания.

Кибернетика включает изучение обратной связи, чёрных ящиков, и производных концептов, таких как управление и коммуникация в живых организмах, машинах и организациях, включая самоорганизации. Она фокусирует внимание на том, как что-либо (цифровое, механическое или биологическое) обрабатывает информацию, реагирует на неё и изменяется или может быть изменено, для того чтобы лучше выполнять первые две задачи. Более философское определение кибернетики описывает кибернетику как «искусство обеспечения эффективности действия». Кибернетика соединяет системы управления, теории электрических цепей, машиностроения, логического моделирования, эволюционной биологии, неврологии, антропологии, и психологии, теорию игр, теорию систем, психологию (особенно нейропсихология, бихевиоризм, познавательная психология), философию, и архитектуру. Как видно, термин информация в определениях кибернетики вообще никак не упоминается, хотя, конечно, информация в кибернетике присутствует.

Кибернетика – междисциплинарные исследования структуры регулирующих систем. Кибернетика близко связана с теорией управления и теорией систем. Кибернетика одинаково применима к физическим, биологическим и социальным системам. Кибернетика полезна, когда система вовлечена в замкнутую цепь сигнала, где действие системы вызывает некоторое изменение в окружающей среде, а это изменение проявляется на системе через информацию/обратную связь, что вызывает изменения в способе поведения системы. Эти «круговые причинные» отношения необходимы и достаточны с точки зрения кибернетики.

Согласно современному определению, кибернетика – наука об управлении, связи и переработки информации. Основной объект исследования – кибернетическая система, рассматриваемая абстрактно, вне зависимости от её материальной сущности. Примеры кибернетических систем – автоматические регуляторы в технике, компьютеры, человеческий мозг, биологические популяции, человеческое общество. Каждая такая система представляет собой множество взаимосвязанных объектов, способных воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею. Теоретическое ядро кибернетики составляют теория информации, теория алгоритмов, теория информации, исследование операций, теория оптимального управления, теория распознавания образов. Кибернетика разрабатывает общие принципы создания систем управления и систем для автоматизации умственного труда. Основные технические средства для решения задач управления – компьютеры. Поэтому возникновение кибернетики как науки связано с созданием в 40-х гг 20 в этих машин, а развитие кибернетики в теоретических и практических аспектах – с прогрессом электронной вычислительной техники.

Таким образом, кибернетика использует достижения компьютерных наук, но и компьютерные науки во многом используют принципы кибернетики, кибернетика основана на информатике, но и информатика пользуется кибернетикой. Компьютерные, информационные технологии и кибернетика тесно связаны друг с другом, что не мешает им быть совершенно разными технологиями и при случае свободно обходиться друг без друга.

Обратная связь в кибернетике, теории управления, радиотехнике - это процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы. Другими словами, на вход системы подаётся сигнал, пропорциональный её выходному сигналу (или, в общем случае, являющийся функцией этого сигнала). Часто это делается преднамеренно, чтобы повлиять на динамику функционирования системы. Обратные связи наблюдаются или применяются в самых различных областях, включая электронику, экономику, биологию и т. п. Различают положительную и отрицательную обратную связь. Отрицательная обратная связь изменяет входной сигнал таким образом, чтобы противодействовать изменению выходного сигнала. Это делает систему более устойчивой к случайному изменению параметров. Положительная обратная связь, наоборот, усиливает изменение выходного сигнала. Системы с сильной положительной обратной связью проявляют тенденцию к неустойчивости, в них могут возникать незатухающие колебания, т.е. система становится генератором.

Чёрный ящик - термин, используемый для обозначения системы, механизм работы которой очень сложен, неизвестен или неважен в рамках данной задачи. Такие системы имеют «вход» для ввода информации и «выход» для отображения результатов работы. Состояние выходов обычно функционально зависит от состояния входов. Если механизм работы неважен, то зависимость результатов от входных данных, как правило, известна; концепция чёрного ящика при этом используется, чтобы не отвлекаться на внутреннее устройство. Однако такой подход может дать

ошибку при использовании устройства на пределе его возможностей. И если два "чёрных ящика" взаимодействуют между собой, то делают они это только путем обмена информацией.

Теория управления - наука о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами.

Кибернетика может рассматриваться как прикладная информатика в области создания и использования автоматических или автоматизированных систем управления разной степени сложности, от управления отдельным объектом (станком, промышленной установкой, автомобилем и т. п.) до самых сложных систем управления целыми отраслями промышленности, банковскими системами, системами связи и даже сообществами людей. Кибернетика установила, что управление присуще только системным объектам, главное в которых антиэнтропийность, т.е. направленность на упорядочение системы.

Процесс управления можно разделить на несколько этапов: сбор и обработка информации; анализ, систематизация, синтез; постановка на этой основе целей; выбор метода управления, прогноз; внедрение выбранного метода управления; оценка эффективности выбранного метода управления (обратная связь). Конечной целью теории управления является универсализация, а значит согласованность, оптимизация и наибольшая эффективность функционирования систем.

Главные характеристики "черного ящика" - это входная и выходная информация. И если два таких "черных ящика" взаимодействуют между собой, то делают они это только путем обмена информацией.

В границах системно-кибернетического подхода информация рассматривается в контексте трёх фундаментальных аспектов любой кибернетической системы: информационном, связанном с реализацией в системе определенной совокупности процессов отражения внешнего мира и внутренней среды системы путем сбора, накопления и переработки соответствующих сигналов; управленческом, учитывающем процессы функционирования системы, направления ее движения под влиянием полученной информации и степень достижения своих целей; организационном, характеризующем устройство и степень совершенства самой системы управления в терминах её надежности, живучести, полноты реализуемых функций, совершенства структуры и эффективности затрат на осуществление процессов управления в системе.

1.4 Наука информатика

Термин «информатика», пожалуй, ещё чаще путают с «компьютерной наукой», чем термин «информационная технология» с «компьютерной технологией».

Началось это с момента возникновения термина *информатика*.

Термин "**информатика**" (франц. *informatique*) происходит от французских слов *information* (информация) и *automatique* (автоматика) и дословно означает "информационная автоматика". *(Поскольку в момент начала широкого распространения автоматике её связывали с компьютерами (хотя автоматика часто обходится без компьютеров), то говоря «автоматика» подразумевали «компьютеры», отсюда не далеко до понимания, что информатика и компьютерная наука – синонимы, что, конечно, не так).*

Согласно французскому подходу информатика = информация + автоматика. В США и англоязычных странах информатику называют computer science – компьютерная наука. В СССР в 60-е годы все вопросы по разработке, функционированию и применению автоматических систем обработки информации назывались термином КИБЕРНЕТИКА

В 1978 международный научный конгресс официально закрепил за понятием "информатика" области, связанные с разработкой, созданием, использованием и материально-техническим обслуживанием систем обработки информации, включая компьютеры и их программное обеспечение, а также организационные, коммерческие, административные и социально-политические аспекты компьютеризации - массового внедрения компьютерной техники во все области жизни людей.

Энциклопедия «Википедия» такое определение информатики:

Информатика (ср. нем. *Informatik*, фр. *Informatique*, англ. *computer science* - компьютерная наука - в США, англ. *computing science* - вычислительная наука - в Великобритании) - наука о способах получения, накоплении, хранении, преобразовании, передаче и использовании информации. Она включает дисциплины, так или иначе относящиеся к обработке информации в вычислительных машинах и вычислительных сетях: как абстрактные, вроде анализа алгоритмов, так и довольно конкретные, например, разработка языков программирования.

Согласно такому подходу информатика базируется на компьютерной технике и немыслима без нее.

Термин «информатика» предложен Карлом Штейнбухом в 1957. В 1962 этот термин был введён во французский язык Ф. Дрейфусом. Отдельной наукой информатика была признана в 1970-х; до того она развивалась в составе математики и электроники. Сейчас информатика обладает собственными методами и терминологией. Высшей наградой за заслуги в области информатики является премия Тьюринга.



Генетически информатика связана с вычислительной техникой, компьютерными системами и сетями, так как именно компьютеры позволяют порождать, хранить и автоматически перерабатывать информацию в больших количествах *(хотя до уровня годовалого ребёнка или там вороны, в плане эффективности переработки и использования информации, компьютеру как до луны: хорошо, если лет через 300 ему удастся догнать какое-либо живое существо)*. Как наука, информатика изучает общие закономерности, свойственные информационным процессам. При разработке новых носителей информации, каналов связи, приёмов кодирования, визуального отображения информации и т.п., конкретная природа информации не имеет значения. Здесь важны общие принципы организации и эффективность поиска данных, а не то, какие конкретно данные будут заложены в базу пользователями. Эти общие закономерности есть предмет информатики как науки. Многообразные информационные технологии, функционирующие в разных видах человеческой деятельности (управлении производственным процессом, проектировании, финансовых операциях, образовании и т.п.), имея общие черты, в то же время существенно различаются между собой. Объединить их в одном подходе и призвана информатика.

Предметную область информатики установить так и не удалось. Для иллюстрации царящего здесь произвола приведём несколько определений информатики, заимствованных из различных источников.

Информатика, это:

- название фундаментальной естественной науки, изучающей общие свойства информации, процессы, методы и средства ее обработки (сбор, хранение, преобразование, перемещение, выдача);
- наука о преобразовании информации, которая базируется на вычислительной технике. Состав информатики – это три неразрывно и существенно связанные составные части: технические средства, программные и алгоритмические;
- комплексная научная и технологическая дисциплина, которая изучает аспекты разработки, проектирования, создания машинных систем обработки данных, а также их воздействия на жизнь общества;
- наука о проблемах обработки различных видов информации, создании новых видов высокоэффективных ЭВМ, позволяющая представлять человеку широкий спектр информационных ресурсов;
- наука об осуществляемой с помощью автоматических средств целесообразной обработке информации, рассматриваемой как представление знаний и сообщений в технических, экономических и социальных;
- наука, техника и применение машинной обработки, хранения и передачи информации;
- отрасль науки, изучающая структуру и общие свойства научной информации, а также вопросы, связанные с ее сбором, хранением, поиском, переработкой, преобразованием, распространением и использованием в различных сферах деятельности.

Информатика - научная дисциплина с широким диапазоном применения. Её основные направления: разработка вычислительных систем и программного обеспечения; теория информации, изучающая процессы, связанные с передачей, приёмом, преобразованием и хранением информации; методы искусственного интеллекта, позволяющие создавать программы для решения задач, требующих определённых интеллектуальных усилий при выполнении их человеком (логический вывод, обучение, понимание речи, визуальное восприятие, игры и др.); системный анализ, заключающийся в анализе назначения проектируемой системы и в установлении требований, которым она должна отвечать; методы машинной графики, анимации, средства мультимедиа; средства телекоммуникации, в том числе, глобальные компьютерные сети, объединяющие всё человечество в единое информационное сообщество; разнообразные приложения, охватывающие производство, науку,

образование, медицину, торговлю, сельское хозяйство и все другие виды хозяйственной и общественной деятельности.

Далеко не всегда, информатику связывают с компьютерами. Здесь уместно вспомнить высказывание Эдсгер Дейкстра: *«Информатика не более наука о компьютерах, чем астрономия - наука о телескопах»*. (С этим высказыванием я полностью согласен).

Тогда:

Информатика - совокупность дисциплин, изучающих свойства информации, а также способы представления, накопления, обработки и передачи информации с помощью технических средств.

(Думаю, в скором времени в информатику будут вовлечены биологические средства, как более эффективные, чем технические).

В данном курсе лекций термин информатика определяется следующим образом:

Информатика - совокупность научных направлений, изучающих информацию, информационные процессы в природе, обществе, технике, формализацию и моделирование, методы познания, способы представления, накопления, обработки и передачи.

Теоретическую основу информатики образует группа фундаментальных наук, которую в равной степени можно отнести как к математике, так и к кибернетике: теория информации, теория алгоритмов, математическая логика, теория формальных языков и грамматик, комбинаторный анализ, теория вероятности и статистика и т. д. Кроме них информатика включает такие разделы, как архитектура компьютеров, операционные системы, теория баз данных, технология программирования и многие другие.

Важным разделом информатики является теоретическая информатика, использующая методы математики для построения и изучения моделей обработки, передачи и накопления информации. В ней есть такие разделы, как математическая логика, теория алгоритмов, исчисление высказываний и предикатов, теория параллельных вычислений, теория автоматов, теория сетей Петри, верификация, Булева логика, средства логического программирования и представления знаний, вычислительная математика и вычислительная геометрия, теория информации (как теория кодирования), системный анализ, общая и математическая теория систем, динамические системы, информационные системы, большие и сложные системы, структурный анализ, системное проектирование, теория принятия решений, теория игр, математическое программирование, исследование операций и др.

Неопределённость в определении сущности информатики, её целей и задач, связана с неопределённостью её предмета – информации. Феномен информации оказался настолько неоднозначным, что понимание его считается одной из сложнейших проблем современности. Уже сами попытки подобраться к понятию информации, различные его трактовки в трудах ученых и практиков заставляют задуматься о необычной роли информации в жизни развивающихся систем.

Далее мы рассмотрим науку информатику более подробно.

2. ИНФОРМАТИКА

2.1 История информатики

Историю развития человеком информационных инструментов можно разделить на три этапа:

1. 5 тыс лет до н.э. – изобретение письменности;
2. 15 век н.э. – книгопечатанье;
3. Середина 20 века – изобретение компьютера и создание на базе компьютеров информационных сетей.



Рис. . Последовательность революций XX века.

Понятие информации рассматривалось ещё античными философами. До начала промышленной революции, определение сути информации оставалось прерогативой философов. С развитием электроники, рассматривать вопросы теории информации стала кибернетика. В начале 21-го века возникли специалисты по информатике.

Хотя термин «информация» никогда не был точно определён, сама информация существовала всегда подобно веществу, энергии, пространству и времени. Биота с момента своего возникновения переносит и

перерабатывает информацию, носителем которой является ДНК. Эффективным носителем информации является мозг человека, в форме его памяти. Эта память ненадежна, поэтому достаточно давно человечество придумало записывать мысли во всех видах и на различных носителях. Примерами техногенными носителями являются бумага, USB-Flash память, глиняная табличка и т.п. Информация тоже бывает разная: текст, звук, видео, запах, вкус...

Исторические эпохи, с точки зрения освоения идей информатики, следует характеризовать по таким параметрам, как организация передачи информации в пространстве, т.е. распространение информации между удаленными людьми в относительно небольшой временной интервал; организация передачи информации во времени, т.е. накопление и хранение информации; и организация обработки информации, т.е. преобразование её с целью использования в практических целях – управление, образование, создание новой информации (наука)

Все эти показатели развивались очень неравномерно, что привело к возникновению, а затем и преодолению информационных барьеров, образующихся в результате противоречий между информационными запросами общества и техническими возможностями их обеспечения.

Их три:

1. V тысячелетие до нашей эры. Противоречие- необходимо сохранять и передавать накопленные опыт и знания, а не на чем. Появление письменности. Носителями информации стали камни, глиняные таблички, папирус, пергамент, а во II веке до н.э. появилась и бумага. Теперь хранилище информации – не только человеческий мозг.

2. XV век – развитие производства (появление цехов, мануфактур и т.п) – как следствие потребность в большом числе образованных людей, способных всем этим управлять. Противоречие состояло в том, что рукописных книг не хватало. Было изобретено книгопечатание (XV век Гутенберг). Основной носитель информации – бумага. Скорость передачи её = скорости передачи бумажного носителя. Затем – к началу XX века изменилась ситуация со СКОРОСТЬЮ распространения информации – сначала почта, потом телеграф, телефон, 1905-радио, 20-30 гг. - телевидение. Появились и устройства для ХРАНЕНИЯ информации - фотография, кинолента, магнитная запись. Не изменилась только ПЕРЕРАБОТКА информации – по-прежнему эту функцию выполнял только человек.

3. Середина XX столетия. Общие объемы информации настолько возросли, что человеческий мозг не был в силах с ними справиться. Еще толчок – II мировая война. И был изобретен компьютер. Его основная роль – хранитель информации, самой информацией по-прежнему занимается человек, ибо искусственный разум создать не удалось.

История носителей информации началась давно.

Первыми носителями информации были стены пещер и поверхности скал. Наскальные изображения и петроглифы (палеолит 40 - 10 тыс. лет до нашей эры) изображали животных, охоту и бытовые сцены. Неизвестно предназначались ли они для передачи информации, служили простым украшением, совмещали эти функции или нужны были для чего-то ещё. Тем не менее, это самые старые носители информации, известные сейчас. Носителями информации выступали глиняные таблички – (7-й век до нашей эры) на базе которых была устроена первая библиотека, восковые таблички, папирус, пергамент, бумага, береста, и др. Перфокарты - появились в 1804 (задание рисунка ткани для ткацкого станка), хотя запатентованы лишь в 1884. Впервые применены Г.Холлеритом для переписи населения США в 1890. Перфолента появилась в 1846 и использовалась при посылке телеграммы. С 1952 магнитная лента используется для хранения, записи и считывания информации в компьютере. Она получила огромное признание и распространённость в форме компакт-кассет. Магнитный диск был изобретен в компании IBM в начале 50-х годов. Первый гибкий диск представлен в 1969, жёсткий диск – в 1956, Compact Disk, DVD - в конце 20-го века, Flash – в начале 21-го века.

В XX в. бурное развитие получили всевозможные средства связи (телефон, телеграф, радио), назначение которых заключалось в передаче сообщений. Однако эксплуатация их выдвинула ряд проблем: как обеспечить надежность связи при наличии помех, какой способ кодирования сообщения применять в том или ином случае, как закодировать сообщение, чтобы при минимальной его длине обеспечить передачу смысла с определенной степенью надежности. Эти проблемы требовали разработки теории передачи сообщений, иными словами, теории информации. Одним из основных вопросов этой теории был вопрос о возможности измерения количества информации.

Попытки количественного измерения информации предпринимались неоднократно. Первые отчетливые предложения об общих способах измерения количества информации были сделаны Р.Фишером

(1921) в процессе решения вопросов математической статистики. Проблемами хранения информации, передачи ее по каналам связи и задачами определения количества информации занимались Р.Хартли (1928) и Х. Найквист (1924). Р.Хартли заложил основы теории информации, определив меру количества информации для некоторых задач.

Р. Хартли в своей работе «Передача информации» ввёл в теорию передачи информации методологию измерения количества информации и предложил математический аппарат для расчёта этого количества. При этом под информацией он понимал *«... группу физических символов – слов, точек, тире и т. п., имеющих по общему соглашению известный смысл для корреспондирующих сторон»*. Таким образом, Хартли попытался ввести какую-то меру для измерения кодированной информации, а точнее последовательности символов, используемых для кодирования вторичной информации. Ещё в 1927 Хартли отмечал, что количество информации, заключенной в любом сообщении, тесно связано с количеством возможностей, данным сообщением исключающихся. Фраза «яблоки красные» несёт намного больше информации, чем фразы «фрукты красные» или «яблоки цветные», так как первая фраза исключает все фрукты, кроме яблок, и все цвета, кроме красного. Исключение других возможностей повышает информационное содержание.

Наиболее убедительно эти вопросы были разработаны и обобщены американским инженером Клодом Шенноном в 1948, опиравшимся на математический аппарат Хартли. В 1949 Шеннон и Уивер представили формулу вычисления количества информации, в которой информация возрастала с уменьшением вероятности отдельного сообщения. В их представлении информация определяется как мера свободы чьего-либо (или какой-либо системы) выбора в выделении сообщения. После публикации этой работы началось интенсивное развитие теории информации и углубленное исследование вопроса об измерении её количества (*не любой информации, а только кодированной!*). Шеннон также предложил абстрактную схему связи, состоящую из пяти элементов (источника информации, передатчика, линии связи, приёмника и адресата), и сформулировал теоремы о пропускной способности, помехоустойчивости, кодировании и т.д.

В результате развития теории информации и её приложений, идеи Шеннона быстро распространили свое влияние на самые различные области знаний. Было замечено, что формула Шеннона очень похожа на используемую в физике формулу энтропии, выведенную Больцманом. В этой связи напомним, что впервые понятие энтропии было введено Клаузиусом в 1865 г. как функция термодинамического состояния системы. Им же дана эмпирическая формула, связывающая энтропию с теплотой и работой. Л.Больцман (1872) методами статистической физики установил связь между энтропией и термодинамической вероятностью (так называемую формулу Больцмана написал Планк), под которой он понимал количество перестановок молекул идеального газа, не влияющее на макросостояние системы. Энтропия Больцмана выведена для идеального газа и трактуется как мера беспорядка, мера хаоса системы. Для идеального газа энтропии Больцмана и Клаузиуса тождественны, поэтому и эмпирическая функция Клаузиуса стала объясняться как мера вероятности состояния молекулярной системы.

Классики не связывали энтропию с информацией.

Энтропия - степень неупорядоченности статистических форм движения молекул.

Энтропия максимальна при равновероятном распределении параметров движения молекул (направлении, скорости и пространственном положении). Значение энтропии уменьшается, если движение молекул упорядочить. По мере увеличения упорядоченности движения энтропия стремится к нулю (например, когда возможно только одно значение и направление скорости). При составлении какого-либо сообщения (текста) с помощью энтропии можно характеризовать степень неупорядоченности движения (чередования) символов.

Но энтропия важна не только для описания поведения молекул газов. Её, например, можно использовать для анализа текста этой лекции. При составлении какого-либо текста с помощью энтропии можно характеризовать степень неупорядоченности чередования символов.

Используя различие формул количества информации Шеннона и энтропии Больцмана (формулы различались только знаками), Л. Бриллюэн охарактеризовал информацию как отрицательную энтропию, или *негэнтропию*. Так как энтропия является мерой неупорядоченности, то информация может быть определена как *мера упорядоченности материальных систем*. В связи с тем, что внешний вид формул совпадает, можно предположить, что понятие информация ничего не добавляет к понятию энтропии. Однако это не так. Если понятие энтропии применялось ранее только для систем, стремящихся к

термодинамическому равновесию, т.е. к максимальному беспорядку в движении её составляющих, к увеличению энтропии, то понятие информации обратило внимание и на те системы, которые не увеличивают энтропию, а наоборот, находясь в состоянии с небольшими значениями энтропии, стремятся к её дальнейшему уменьшению.

Замечание. В настоящее время известно четыре основных типа энтропий. В термодинамике - это функция состояния (Клаузиус) и мера беспорядка (Больцман). В теории информации – мера достоверности передаваемой по каналу связи информации (Шеннон). При этом следует понимать, что энтропия Больцмана является мерой беспорядка, хаотичности, однородности молекулярных систем, тогда как энтропия Клаузиуса пропорциональна количеству связанной энергии, находящейся в системе, которую нельзя превратить в работу, а энтропия Шеннона количественно характеризует достоверность передаваемого сигнала и используется для расчета количества кодированной информации. Четвёртый тип энтропии - ε -энтропия Колмогорова (и K -энтропия Колмогорова-Синая), используемая, например, для анализа таких объектов, как географическая карта.

Теория информации «переросла» рамки поставленных первоначально перед ней задач. Её начали применять к более широкому кругу явлений. Увеличение количества информации стали связывать с повышением сложности системы, с ее прогрессивным развитием. Так, по данным некоторых исследований, при переходе от атомного уровня к молекулярному количество информации увеличивается в 10^3 раза. Количество информации, относящейся к организму человека, примерно в 10^{11} раз больше информации, содержащейся в одноклеточном организме.

Процесс развития в определенном аспекте можно моделировать, используя процесс передачи информации. Применение информационной модели развития дает возможность прояснить механизм прогресса с учетом усложнения, упорядочения и повышения степени организации материальных систем. Трудно переоценить значение идей теории информации в развитии самых разнообразных научных областей. Однако, по мнению К.Шеннона, все нерешенные проблемы не могут быть решены при помощи таких магических слов, как «информация», «энтропия», «избыточность»

Теория информации основана на вероятностных, статистических закономерностях явлений. Она дает полезный, но не универсальный аппарат. Поэтому множество ситуаций не укладываются в информационную модель Шеннона. Не всегда представляется возможным заранее установить перечень всех состояний системы и вычислить их вероятности. Кроме того, в теории информации рассматривается только формальная сторона сообщения, в то время как смысл его остается в стороне.

В 1948 вышла знаменитая монография Н.Винера «Кибернетика», в которой был провозглашён тезис: **«Информация – это информация, а не материя (вещество) и не энергия»**. Объединяющим началом для всех видов управления в живой и неживой природе Винер считал информацию, существующую в двух видах. Он же ввёл понятие «бит», характеризующее единицу информации.

Н. Винер определил информацию как обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе приспособления к нему наших чувств. Вводя понятие о семантически значимой информации, Винер отметил количественное и качественное отличие ЭВМ от человека: машины могут правильно работать в том случае, если получают от человека необходимую им информацию и в самой точной форме. Следовательно, характер информации, вводимой в машину, должен быть точно определен и заранее известен человеку. А живые организмы получают необходимую им информацию благодаря постоянному взаимодействию с природой. Возникновение способности перерабатывать информацию в живых организмах есть исторически развивающийся процесс. Винер показал, что сущность информации заключается в способности систем с памятью к саморазвитию. Другими словами, процессами развития управляет не только внешнее воздействие, но и память. По своей сути память о прошлом представляет собой информацию, записанную в определенных структурах, которые могут передаваться, запоминаться, воспроизводиться.

В рассуждениях Винера познание - это часть жизни, более того - самая ее суть. *«Действенно жить - значит жить, располагая правильной информацией»*. При этом процесс познания, накопления информации непрерывен и бесконечен. *«Я никогда не представлял себе логику, знания и всю умственную деятельность как завершенную замкнутую картину. Я мог понять эти явления только как процесс, с помощью которого человек организует свою жизнь таким образом, чтобы она протекала в соответствии с внешней средой. Важна битва за знание, а не победа. За каждой победой, т. е. за всем, что достигает апогея своего, сразу же наступают сумерки богов, в которых само понятие победы растворяется в тот самый момент, когда она достигнута»*.

В середине 50-х годов 20-го века, используя материал статистической теории информации, У.Эшби изложил концепцию необходимого разнообразия, согласно которой под разнообразием следует

подразумевать характеристику элементов множества, заключающуюся в их несовпадении. Так, множество, в котором все элементы одинаковы, не имеет «никакого» разнообразия, ибо все его элементы одного типа. Если разнообразие его измерить логарифмически, то получим логарифм единицы (единица означает однотипность элементов множества) – нуль. Множество с таким разнообразием соответствует единичной вероятности выбора элемента, т.е. какой элемент множества не был бы выбран, он будет одного и того же типа. Закон необходимого разнообразия Эшби, так же, как закон Шеннона для процессов связи, – общий для процессов управления. Для управления состоянием кибернетической системы нужен регулятор, ограничивающий разнообразие возмущений, которые могут разрушить систему. При этом регулятор допускает такое их разнообразие, которое необходимо и полезно для системы. Закон необходимого разнообразия – один из основных в кибернетике – науке об управлении. Закон относится к процессам передачи сообщений по каналам связи, причём *«информация не может передаваться в большем количестве, чем это позволяет количество разнообразия»*. Кстати Эшби предостерегал против попыток рассматривать информацию как «материальную или индивидуальную вещь»: *«Всякая попытка трактовать информацию как вещь, которая может содержаться в другой вещи, обычно ведёт к трудным проблемам, которые никогда не должны были бы возникать»*.

Закон необходимого разнообразия – разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия управляемого объекта. На практике это означает, что чем сложнее объект управления, тем сложнее должен быть и орган, который им управляет.

Впитывая всевозможные взгляды и концепции, понятие информации постепенно становится более ёмким и «дорастает» до уровня философской категории – самому общему понятию, которым можно оперировать вообще. Если, например, понятие информации связывать с разнообразием, то причиной существующего в природе разнообразия можно считать неоднородность в распределении энергии (или вещества) в пространстве и во времени. Информация тогда – мера этой неоднородности. Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несёт с собой какую-то информацию.

С понятием информации в кибернетике не связано свойство её осмысленности в обычном житейском понимании. Информация охватывает как сведения, которыми люди обмениваются между собой, так и сведения, существующие независимо от людей. Например, звёзды существуют независимо от того, имеют люди информацию о них или нет. Существовая объективно, они создают неоднородность в распределении вещества и поэтому являются источниками информации.

В данном случае понятие информации определяется уже на уровне таких изначальных понятий философии, как материя и энергия. Информация независима от нашего сознания. Её объективный характер основан на объективности существования ее источника – разнообразия. Для того чтобы построить строгую теорию информации, К.Шеннону пришлось отвлечься от её смысла.

Очень близка к «разнообразностной» трактовке информации идея алгоритмического измерения её количества, выдвинутая в 1965 А.Н.Колмогоровым. Суть её заключается в том, что количество информации определяется как минимальная длина программы, позволяющей преобразовать один объект (множество) в другой (множество). Чем больше различаются два объекта между собой, тем сложнее (длиннее) программа перехода от одного объекта к другому. Длина программы при этом измеряется количеством команд (операций), позволяющих воспроизвести последовательность. Этот подход, в отличие от подхода Шеннона, не базирующийся на понятии вероятности, позволяет, например, определить прирост количества информации, содержащейся в результатах расчёта, по сравнению с исходными данными. Вероятностная теория информации на этот вопрос не может дать удовлетворительного ответа.

До сих пор мы рассматривали подходы, связанные с количественным аспектом понятия информации без учета смысловой стороны информации. Эти подходы позволили привлечь к изучению информации точные математические методы. В результате были созданы всевозможные кибернетические устройства (понятие информации является центральным в кибернетике), вычислительные машины и пр. Всё это стало возможным благодаря достижениям теории информации. Человек научился её преобразовывать, кодировать и передавать на огромные расстояния с хорошей точностью.

Классическая теория информации Шеннона, значительно дополненная и обогащенная новыми подходами, всё же не может охватить всего многообразия понятия информации и, в первую очередь, ее содержательного аспекта. Теория информации К.Шеннона также не занимается определением ценности информации. Количество информации её интересует лишь с точки зрения возможности передачи данных сообщении оптимальным образом.

В 1968 году Урсул указал на то, что информация неоднородна, она обладает качественными характеристиками, и два разных типа информации не могут сравниваться. Каждый уровень природы обладает собственной информацией. При этом «человеческая», или «социальная», информация составляют один тип информации, и в рамках которой выделяются два аспекта: семантический (содержание) и прагматический (ценность).

Попытки оценить не только количественную, но и содержательную сторону информации дали толчок к развитию смысловой теории информации. Исследования в этой области теснее всего связаны с семиотикой – теорией знаковых систем. Одним из важнейших свойств информации является её неотделимость от носителя: во всех случаях, когда мы сталкиваемся с любыми сообщениями, эти сообщения выражены некоторыми знаками, словами, языками. Семиотика исследует знаки как особый вид носителей информации. При этом знак – условное изображение элемента сообщения, слово – совокупность знаков, имеющих смысловое значение, язык – словарь и правила пользования им. Таким образом, рассуждая о количестве, содержании и ценности информации, содержащейся в сообщении, можно исходить из возможностей соответствующего анализа знаковых структур.

В качестве знаковых систем используются естественные и искусственные языки, в том числе информационные и языки программирования, различные системы сигнализации, логические, математические и химические символы. Они служат средством обмена информацией между высокоорганизованными системами (способными к обучению и самоорганизации). Примером могут быть живые организмы, машины с определенными свойствами.

Рассматривая знаковые системы, выделяют три основных аспекта их изучения: синтактику, семантику и прагматику. Синтактика изучает синтаксис знаковых структур, т.е. способы сочетаний знаков, правила образования этих сочетаний и их преобразований безотносительно к их значениям. Отметим в связи с этим, что рассматриваемые ранее способы определения количества информации можно отнести к синтаксическим способам. Семантика изучает знаковые системы как средства выражения смысла, определенного содержания, т.е. правила интерпретации знаков и их сочетаний, смысловую сторону языка. Прагматика рассматривает соотношение между знаковыми системами и их пользователями, или приемниками-интерпретаторами сообщений. К ней относится изучение практической полезности знаков, слов и, следовательно, сообщений, т.е. потребительской стороны языка.

Основная идея семантической концепции информации заключается в возможности измерения содержания суждений. Но содержание всегда связано с формой, поэтому синтаксические и семантические свойства информации взаимосвязаны, хотя и различны. Получается, что содержание можно измерить через форму, т.е. семантические свойства информации выразить через синтаксические. Поэтому и исследования семантики базировались на понятии информации как уменьшении или устранении неопределенности.

Семантическая концепция преодолевает чисто вероятностный подход. Здесь количество информации, содержащейся в суждении по некоторой проблеме, определяется тем, насколько доказательство или допущение истинности этого суждения уменьшает энтропию, дезорганизованность системы. При прагматическом подходе делается попытка установить зависимость между информацией и целью, которую ставит перед собой человек, работающий с информацией. Прагматический, ценностный подход к информации особенно важен в социальном управлении, где необходима не всякая информация, а лишь та, которая способствует достижению цели, стоящей перед системой. Ценность информации определяется через разность между вероятностями достижения цели до и после получения информации. В соответствии с этим определением информация измеряется всегда положительной величиной, а ценность её может быть и отрицательной.

Первую попытку построения теории семантической информации предприняли Р.Карнап и И.Бар-Хиллел. Они применили идеи и методы символической логики и логической семантики к анализу информационного содержания языка науки. Было предложено определять величину семантической информации посредством логической вероятности, представляющей собой степень подтверждения той или иной гипотезы. При этом количество семантической информации, содержащейся в сообщении, возрастает по мере уменьшения степени подтверждения априорной гипотезы. Если вся гипотеза построена на эмпирических данных, полностью подтверждаемых сообщением, то такое сообщение не приносит получателю никаких новых сведений. Логическая вероятность гипотезы при этом равна единице, а семантическая информация оказывается равной нулю. Гипотеза полностью вытекает из данных опыта. И, наоборот, по мере уменьшения степени подтверждения гипотезы, или запаса знаний, количество семантической информации, доставляемой сообщением, возрастает. Чем больше логическая вероятность

высказывания, тем меньше мера его содержания, т.е. чем больше описаний состояния «разрешает» то или иное высказывание, тем меньше должна быть его семантическая информативность и, наоборот, чем больше описаний состояния им исключается, тем больше должна быть его информативность. Семантико-информационное содержание высказывания определяется не тем, что содержит данное высказывание, а тем, что оно исключает.

Финский ученый Я.Хинтика распространил основные идеи семантической теории информации на логику высказываний. Для многих ситуаций (наблюдения, измерения, подтверждения гипотезы, научного предсказания, объяснения) он предложил метод определения уменьшения неопределенности, которое, например, претерпевает гипотеза g после получения того или иного эмпирического факта h или вообще изменения информационного содержания высказывания g при получении высказывания h .

Изучение отношений между знаками и их потребителями с точки зрения использования получаемой информации и влияния знаков на поведение систем составляет основу прагматической теории информации. Для всех подходов здесь характерно стремление связать понятие прагматической информации с целью, целенаправленным поведением и выдвинуть те или иные количественные меры ценности информации.

Значительную роль в развитии прагматической теории информации сыграли работы американского логика Д.Харраха, поставившего перед собой цель показать, как символическая логика и теория семантической информации могут быть использованы для анализа некоторых аспектов человеческой коммуникации. Эту цель он пытается достигнуть путем создания «модели того, как разумный получатель оценивает последовательность сообщений на основе определенных семантических и прагматических свойств». Харрах предложил обеспечить получателя «программой обработки сообщений», с помощью которой извлекается из получаемых сообщений «годная к употреблению сумма сообщений». Именно к этому результату переработки сообщений, а не к сообщениям в их первоначальной форме применимы количественные меры информации. Логическая модель коммуникации служит тем языковым каркасом, в рамках которого программа может быть образована и применена.

Коммуникационная деятельность - особый вид общения - деятельность по передаче информации от источника (коммуникатора) к получателю (реципиенту) посредством определенного канала. Между коммуникатором и реципиентом может осуществляться «обратная связь», то есть процесс, с помощью которого коммуникатор получает информацию о том, в какой мере и с каким качеством реципиент получил информацию.

Появление вычислительных машин в 50-х гг. 20-го века создало до становления информатики необходимую ей аппаратную поддержку, нужную для хранения и переработки информации. Но, конечно, с информацией люди оперировали задолго до появления компьютеров. Начиная с древнего абака, дожившего до наших дней в виде конторских счётов, создавались приспособления для обработки числовой информации. Механические устройства типа арифмометров, счётные электрические клавишные машины, счётно-аналитическая техника и многие другие приборы были нацелены на решение тех же задач, которые в полном объеме стали реализовываться в компьютерах.

Кроме числовой информации, в поле зрения специалистов всё время была и символьная информация, например, тексты на естественном языке: от приключенческих повестей до отчетов о проделанной работе, справок из учреждений, писем и т. п. Для хранения и переработки такой информации также придумывали и создавали различные приспособления и устройства. Простейшим примером может служить стойка с ящиками, в которых хранятся карточки, несущие информацию. Такие каталоги - неперенный атрибут библиотек. Но на карточках можно хранить в систематизированном виде и любую другую информацию, записанную на некотором естественном или специальном языке. Стремление как-то механизировать, а затем и автоматизировать процедуры, связанные с поиском нужной информации в каталоге, привело к появлению приёмов, вошедших в арсенал специальной науки – документалистики, детищем которой стали ручные и автоматизированные информационно-поисковые системы.

Компьютер в одной системе объединил хранение и обработку как числовой, так и текстовой (символьной) информации. Именно поэтому его появление знаменовало начало новой науки.

2.2 Основы информатики

Термин «информатика» (франц. *informatique*) происходит от французских слов *information* (информация) и *automatique* (автоматика) и дословно означает «информационная автоматика». Широко распространён также англоязычный вариант этого термина – «Computer science», что означает буквально «компьютерная наука».

В настоящее время существуют различные определения информатики.

Информатика, это:

- название фундаментальной естественной науки, изучающей общие свойства информации, процессы, методы и средства ее обработки (сбор, хранение, преобразование, перемещение, выдача)
- наука о преобразовании информации, которая базируется на вычислительной технике. Состав информатики – это три неразрывно и существенно связанные составные части: технические средства, программные и алгоритмические.
- комплексная научная и технологическая дисциплина, которая изучает аспекты разработки, проектирования, создания машинных систем обработки данных, а также их воздействия на жизнь общества
- наука о проблемах обработки различных видов информации, создании новых видов высокоэффективных ЭВМ, позволяющая представлять человеку широкий спектр информационных ресурсов
- наука об осуществляемой с помощью автоматических средств целесообразной обработке информации, рассматриваемой как представление знаний и сообщений в технических, экономических и социальных областях
- наука, техника и применение машинной обработки, хранения и передачи информации
- отрасль науки, изучающая структуру и общие свойства научной информации, а также вопросы, связанные с ее сбором, хранением, поиском, переработкой, преобразованием, распространением и использованием в различных сферах деятельности

Таким образом

Информатика - совокупность научных направлений, изучающих информацию, информационные процессы в природе, обществе, технике, формализацию и моделирование как методы познания, способы представления, накопления, обработки и передачи информации с помощью технических средств.

Информатика (как наука) занимается методологией, технологией и опытом познания (анатомией познавательной деятельности). В информатике рассматриваются информационные процессы, т.е. процессы, связанные с получением, хранением, обработкой и передачей информации без какой-либо привязки к её носителям. В прикладной информатике часто используются компьютеры.

Теоретическую основу информатики образует группа фундаментальных наук, которую в равной степени можно отнести как к математике, так и к кибернетике: теория информации, теория алгоритмов, математическая логика, теория формальных языков и грамматик, комбинаторный анализ и т. д. Кроме них информатика включает такие разделы, как архитектура ЭВМ, операционные системы, теория баз данных, технология программирования, методы математической статистики и др..

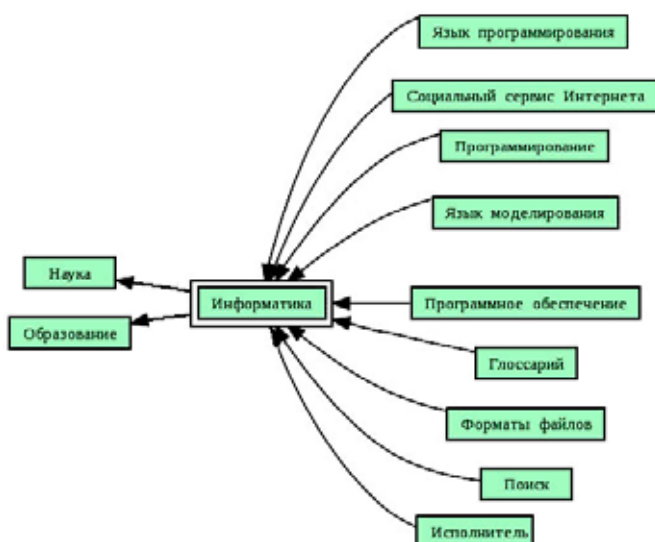
Информатика является комплексной, междисциплинарной отраслью научного знания.

Важное направление информатики - изучение информационных процессов, протекающих в биологических системах, и использование накопленных знаний при организации и управлении природными системами и создании технических систем. Примером является - биокибернетика. В сферу её интересов входят проблемы, связанные с анализом информационно-управляющих процессов, протекающих в живых организмах, диагностика заболеваний и поиск путей их лечения. Сюда же относятся системы, предназначенные для оценки биологической активности тех или иных химических соединений, без которых уже не может существовать фармакология, а также исследования моделей внутриклеточных процессов, лежащих в основе всего живого.

Вторая наука, входящая в это научное направление, - бионика.

Третья наука - биогеоэкология - нацелена на решение проблем, относящихся к системно-информационным моделям поддержания и сохранения равновесия природных систем и поиска таких воздействий на них, которые стабилизируют разрушающее воздействие человеческой цивилизации на биомассу Земли.

Рис. 1. Информатика в науке и образовании



Как наука, информатика изучает общие закономерности, свойственные информационным процессам и именно эти общие закономерности есть

предмет информатики как науки. Объектом приложений информатики являются самые различные науки и области практической деятельности, для которых она стала непрерывным источником самых современных технологий.

Цель информатики состоит в поиске нового знания. Информатика - технология обработки накопленного знания и построения нового знания. Информатика изучает методы анализа знания о методах построения нового знания как своего собственного, так и знания других наук.

2.3 Знание

Знание бывает двух видов.
Мы либо знаем предмет сами, либо знаем,
где можно найти о нём сведения.
С.Джонсон

Как уже упоминалось, предметом информатики является знание.

Знание - форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека. Выделяют различные виды знания: научное, обыденное (здравый смысл), интуитивное, религиозное и др. Обыденное знание служит основой ориентации человека в окружающем мире, основой его повседневного поведения и предвидения, но обычно содержит ошибки, противоречия. Научному знанию присущи логическая обоснованность, доказательность, воспроизводимость результатов, проверяемость, стремление к устранению ошибок и преодолению противоречий.

Знание – достоверное, истинное представление о чём-либо, в отличие от вероятностного мнения.

Знание - субъективный образ объективной реальности, то есть адекватное отражение внешнего и внутреннего мира в сознании человека в форме представлений, понятий, суждений, теорий. Знание в широком смысле – совокупность понятий, теоретических построений и представлений. Знание в узком смысле - признак определённого объёма информации, определяющий её статус и отделяющий от всей прочей информации по критерию способности к решению поставленной задачи.

Знание (предмета) - уверенное понимание предмета, умение самостоятельно обращаться с ним, разбираться в нём, а также использовать для достижения намеченных целей.

Знание - в теории искусственного интеллекта, совокупность данных (у индивидуума, общества или у системы искусственного интеллекта) о мире, включающих в себя информацию о свойствах объектов, закономерностях процессов и явлений, а также правилах использования этой информации для принятия решений. Правила использования включают систему причинно-следственных связей. Главное отличие знаний от данных состоит в их активности, то есть появление в базе новых фактов или установление новых связей может стать источником изменений в принятии решений.

Знания фиксируются в знаках естественных и искусственных языков. Знание противоположно незнанию, то есть отсутствию проверенной информации о чём-либо.

Знания могут быть научными и вненаучными.

Научные знания могут быть эмпирическими (на основе опыта или наблюдения) и теоретическими (на основе анализа абстрактных моделей). Теоретические знания - абстракции, аналогии, схемы, отображающие структуру и природу процессов, протекающих в предметной области. Эти знания объясняют явления и могут использоваться для прогнозирования поведения объектов.

Вненаучные знания могут быть: паранаучными - знания несовместимые с имеющимся гносеологическим стандартом. Широкий класс паранаучного (*пара от греч. - около, при*) знания включает в себя учения или размышления о феноменах, объяснение которых не является убедительным с точки зрения критериев научности; лженаучными - сознательно эксплуатирующие домыслы и предрассудки; квазинаучными - они ищут себе сторонников и приверженцев, опираясь на методы насилия и принуждения; антинаучными - как утопичные и сознательно искажающие представления о действительности (приставка «анти» обращает внимание на то, что предмет и способы исследования противоположны науке); псевдонаучными - представляют собой интеллектуальную активность, спекулирующую на совокупности популярных; обыденно-практическими - доставлявшими элементарные сведения о природе и окружающей действительности; личностными - зависящими от способностей того или иного субъекта и от особенностей его интеллектуальной познавательной деятельности; «народной наукой» - особой формой вненаучного и внерационального знания, которая - дело отдельных субъектов: знахарей, целителей, экстрасенсов, а ранее шаманов, жрецов, старейшин рода.

Выделяют личностные (неявные, скрытые) знания – знания людей и формализованные знания - знания в документах, на компакт дисках, в персональных компьютерах, в Интернете.

Для того чтобы нечто считалось знанием, это нечто должно удовлетворять трём критериям: быть подтверждаемым, истинным и заслуживающим доверия.

Управление знаниями пытается понять способ, которым знание используется и распространяется в организациях и рассматривает знание как соотносящееся с самим собой и возможное к повторному использованию. Повторное использование означает, что определение знания находится в состоянии постоянного изменения. Управление знаниями трактует знание как форму информации, которая наполнена контекстом, основанном на опыте. Информация - это данные, которые существенны для наблюдателя из-за их значимости для наблюдателя. Данные могут быть предметом наблюдения, но не обязательно должны быть им. В этом смысле знание состоит из информации, подкрепленной намерением или направлением.

Informatio (lat.) - разъяснение, осведомление, изложение.

Информация - это ...

Субъективный подход

Сведения (знания) повышающие уровень осведомленности и уменьшающие неопределенность знаний об окружающей нас действительности

Кибернетический подход

Содержание последовательностей символов (сигналов) из некоторого алфавита



изменение эмпирических знаний. Теоретический уровень научного знания предполагает установление законов, дающих возможность идеализированного восприятия, описания и объяснения ситуаций, т. е. познания сущности явлений. Теоретические законы имеют более строгий, формальный характер, по сравнению с эмпирическими. Термины описания теоретического знания относятся к идеализированным, абстрактным объектам. Подобные объекты невозможно подвергнуть непосредственной экспериментальной проверке. Формализованные знания объективизируются знаковыми средствами языка.

Для экспертных оценок процесса появления новых знаний используют объём знания, накопленного в библиотеках. Экспериментальным путём изучают способность человека извлекать информацию в процессе самообучения на нормированных по информации средах. Пока не удаётся измерить темпы производства знания, поскольку нет адекватных универсальных моделей.

Производство знаний из эмпирических данных - одна из основных проблем интеллектуального анализа данных. Существуют различные подходы к решению этой проблемы, в том числе - на основе нейросетевой технологии.

Искусственные нейронные сети - математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге при мышлении, и при попытке смоделировать эти процессы. Первой такой моделью мозга был перцептрон. Впоследствии эти модели стали использовать в практических целях, как правило, в задачах прогнозирования.

2.4 Теоретическая информатика

Теория информации — наука о проблемах сбора, преобразования, передачи, хранения, обработки и отображения информации.

Теория информации базируется на методах теории вероятности, математической статистики, линейной алгебры и других разделах математики. Теория информации и её методы широко используются для анализа процессов в различных информационных системах, т.е. системах, основой функционирования которых является процесс преобразования информации (системы связи, телевидения, вычислительные системы и т.д.). В компьютерной технике методы теории информации широко используются для оценки быстродействия, точности и надежности систем, сжатия и защиты информации, согласования сигналов и каналов в компьютерных сетях передачи данных и т.д.

Теоретическая информатика - математическая дисциплина, использующая методы математики для построения и изучения моделей обработки, передачи и использования информации.

Теория информации (математическая теория связи) - раздел прикладной математики, определяющий понятие информации, её свойства и устанавливающий предельные соотношения для систем передачи данных. Как и любая математическая теория, оперирует с математическими моделями, а не с реальными физическими объектами

(источниками и каналами связи). Использует математический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Основные разделы теории информации - кодирование источника (сжимающее кодирование) и каналное (помехоустойчивое) кодирование. Теория информации тесно связана с криптографией и другими смежными дисциплинами.

Отцом теории информации» считается Клод Шеннон (1916-2001). Его теория изначально понималась, как строго математическая задача в статистике и дала инженерам средство передачи информации, в частности путь к определению ёмкости коммуникационного канала в терминах количества бит. Передающая часть теории не занимается значением (семантикой) передаваемого сообщения, однако дополняющая часть теории информации обращает внимание на содержимое через сжатие с потерями субъекта сообщения, используя критерий точности.

Теория информации - фундамент, на котором строится всё здание информатики. По самой своей природе информация тяготеет к дискретному представлению. Множество информационных сообщений можно описывать в виде дискретного множества, т.е. по своему характеру теоретическая информатика близка к дискретной математике. Поэтому многие модели теоретической информатики заимствованы из дискретной математики, но наполнены конкретным содержанием, связанным со спецификой информации.

Теоретическая информатика распадается на ряд самостоятельных дисциплин. По степени близости решаемых задач их можно условно разделить на несколько классов.

К первому классу относятся дисциплины, опирающиеся на математическую логику. В них разрабатываются методы, позволяющие использовать достижения логики для анализа процессов переработки информации с помощью компьютеров (теория алгоритмов, теория параллельных вычислений), а также методы, с помощью которых можно на основе моделей логического типа изучать процессы, протекающие в самом компьютере во время вычислений (теория автоматов, теория сетей Петри).

Компьютеры оперируют с числами, т. е. с информацией, представленной в дискретной форме. А сами процедуры, реализуемые компьютером, есть алгоритмы, описанные в виде программ. Чтобы составить программу, необходимо разработать специальные приёмы решения задач. В результате развития устройств, автоматизирующих вычисления, появились современные компьютеры, что стимулировало развитие в математике специальных методов решения задач. Так возникли дисциплины, лежащие на границе между дискретной математикой и теоретической информатикой, например, вычислительная математика и вычислительная геометрия.

Теория информации занимается изучением информации как таковой (т. е. в виде абстрактного объекта, лишённого конкретного содержания), выявлением общих свойств информации, законов, управляющих её рождением, развитием и уничтожением. Сюда же относится теория кодирования, в задачу которой входит разработка форм, в которые может быть «отлито» содержание любой конкретной информационной единицы (передаваемого сообщения, гранулы знаний и т. п.). В теории информации имеется раздел, специально занимающийся теоретическими вопросами передачи информации по различным каналам связи.

Информатика имеет дело с реальными и абстрактными объектами. Информация, циркулируя в реальном мире, овеществляется в различных физических процессах, но в информатике она выступает как некоторая абстракция. Такой переход вызывает необходимость использования в компьютерах специальных абстрактных (формализованных) моделей той физической среды, в которой «живёт» информация в реальном мире, т.е. вместо реальных объектов в компьютерах используются их модели. Переход от реальных объектов к моделям, которые можно использовать для реализации в компьютерах, требует развития особых приёмов. Их изучением занимается системный анализ. Системный анализ изучает структуру реальных объектов и даёт способы их формализованного описания. Частью системного анализа является общая теория систем, изучающая самые разнообразные по характеру системы с единых позиций. Системный анализ занимает пограничное положение между теоретической информатикой и кибернетикой. Такое же пограничное положение занимают ещё две дисциплины. Имитационное моделирование - одна из них. В этой науке создаются и используются специальные приемы воспроизведения процессов, протекающих в реальных объектах, в тех моделях этих объектов, которые реализуются в вычислительных машинах. Вторая наука - теория массового обслуживания изучает широкий класс моделей передачи и переработки информации - системы массового обслуживания.

Информационный процесс - процесс, в результате которого осуществляется прием, передача, обработка и хранение информации.



Последний класс дисциплин, входящих в теоретическую информатику, ориентирован на использование информации для принятия решений в самых различных ситуациях, встречающихся в окружающем нас мире. Сюда входит теория принятия решений, изучающая общие схемы, используемые людьми при выборе нужного им решения из множества альтернативных возможностей. Такой выбор часто происходит в условиях конфликта или противоборства. Эти модели изучаются в теории игр. Всегда хочется среди всех

возможных решений выбрать наилучшее или близкое к такому. Проблемы, возникающие при решении этой задачи, изучаются в дисциплине, получившей название математическое программирование (не путать с программированием для компьютеров, слово «программирование» здесь употребляется в ином смысле). При организации поведения, ведущего к нужной цели, принимать решения приходится многократно. Поэтому выбор отдельных решений должен подчиняться единому плану. Изучением способов построения таких планов и их использованием для достижения поставленных целей занимается ещё одна научная дисциплина - исследование операций, в которой изучаются и способы организации различного рода процессов, ведущих к получению нужных результатов. Если решения принимаются не единолично, а в коллективе, то возникает немало специфических ситуаций: образование партий, коалиций, появление соглашений и компромиссов. Эти проблемы изучаются в теории игр и теории коллективного поведения.

Теоретическая информатика – часть информатики, включающая ряд математических разделов. Она опирается на математическую логику и включает такие разделы как теория алгоритмов и автоматов, теория информации и теория кодирования, теория формальных языков и грамматик, исследование операций и другие. Этот раздел информатики использует математические методы для общего изучения процессов обработки информации.

Вычислительная техника – раздел, в котором разрабатываются общие принципы построения вычислительных систем. Речь идёт не о технических деталях и электронных схемах, а о принципиальных решениях на уровне архитектуры вычислительных систем, определяющей состав, назначение, функциональные возможности и принципы взаимодействия устройств. Примеры решений в этой области – неймановская архитектура компьютеров первых поколений, шинная архитектура ЭВМ старших поколений, архитектура параллельной (многопроцессорной) обработки информации.

Программирование – деятельность, связанная с разработкой систем программного обеспечения. Его основные разделы: системное программное и прикладное программирование. Среди системного программирования – разработка новых языков программирования, разработка интерфейсных систем (пример – Windows). Среди прикладного программного обеспечения общего назначения самые популярные – система обработки текстов, электронные таблицы (табличные процессоры), системы управления базами данных.

Информационные системы связаны с анализом потоков информации в различных сложных системах, их оптимизации, структурировании, принципах хранения и поиска информации. Информационно-справочные и информационно-поисковые системы, гигантские современные глобальные системы хранения и поиска информации (включая Интернет) вовлекают всё больший круг пользователей. Без теоретического обоснования принципиальных решений в океане информации можно захлебнуться.

Искусственный интеллект – область информатики, в которой решаются сложнейшие проблемы, находящиеся на пересечении с психологией, физиологией, лингвистикой и другими науками. Поскольку мы далеко не всё знаем о том, как мыслит человек, исследования по искусственному интеллекту не привели к решению принципиальных проблем. Заставить мыслить компьютер не удалось, но попытки продолжаются. Основные направления разработок – моделирование рассуждений, компьютерная лингвистика, машинный перевод, создание экспертных систем, распознавание образов и другие. От успехов работ в области искусственного интеллекта зависит решение такой важнейшей прикладной проблемы как создание

интеллектуальных интерфейсных систем взаимодействия человека с компьютером, благодаря которым это взаимодействие будет походить на межчеловеческое и станет более эффективным.

2.5 Структура информатики

Информация в широком смысле представляет собой единство разнообразных отраслей науки, техники и производства, связанных с переработкой информации главным образом с помощью компьютеров и телекоммуникационных средств связи во всех сферах человеческой деятельности. Информатику в узком смысле можно представить как состоящую из трёх взаимосвязанных частей – технических средств (hardware), программных средств (software), алгоритмических средств (brainware). В свою очередь, информатику рассматривают с разных позиций: как отрасль народного хозяйства, как фундаментальную науку, как прикладную дисциплину. Информатика как отрасль народного хозяйства состоит из однородной совокупности предприятий разных форм хозяйствования, где занимаются производством компьютерной техники, программных продуктов и разработкой современной технологии переработки информации. Специфика и значение информатики как отрасли производства состоят в том, что от неё во многом зависит рост производительности труда в других отраслях народного хозяйства. Более того, для нормального развития этих отраслей производительность труда в самой информатике должна возрастать более высокими темпами, так как в современном обществе информация всё чаще выступает как предмет конечного потребления: людям необходима информация о событиях, происходящих в мире, о предметах и явлениях, относящихся к их профессиональной деятельности, о развитии науки и самого общества. Дальнейший рост производительности труда и уровня благосостояния возможен лишь на основе использования новых интеллектуальных средств и человеко-машинных интерфейсов, ориентированных на приём и обработку больших объемов мультимедийной информации (текст, графика, видеоизображение, звук, анимация). В настоящее время 50% всех рабочих мест в мире поддерживается средствами обработки информации.

Информатика как фундаментальная наука занимается разработкой методологии создания информационного обеспечения процессов управления любыми объектами на базе компьютерных информационных систем. Здесь важно выяснение, что такое информационные системы, какое место они занимают, какую должны иметь структуру, как функционируют, какие общие закономерности им свойственны. Основные научные направления в области информатики: разработка сетевой структуры, компьютерно-интегрированные производства, экономическая и медицинская информатика, информатика социального страхования и окружающей среды, профессиональные информационные системы. Цель фундаментальных исследований в информатике – получение обобщенных знаний о любых информационных системах, выявление общих закономерностей их построения и функционирования.

Информатика как прикладная дисциплина занимается: изучением закономерностей в информационных процессах (накопление, переработка, распространение); созданием информационных моделей коммуникаций в различных областях человеческой деятельности; разработкой информационных систем и технологий в конкретных областях и выработкой рекомендаций относительно их жизненного цикла: для этапов проектирования и разработки систем, их производства, функционирования и т.д.

Главная функция информатики заключается в разработке методов и средств преобразования информации и их использовании в организации технологического процесса переработки информации. Сюда входит исследование информационных процессов любой природы; разработка информационной техники и создание новейшей технологии переработки информации на базе полученных результатов исследования информационных процессов; решение научных и инженерных проблем создания, внедрения и обеспечения эффективного использования компьютерной техники и технологии во всех сферах общественной жизни.

Информатика существует не сама по себе, а является комплексной научно-технической дисциплиной, призванной создавать новые информационные техники и технологии для решения проблем в других областях. Она предоставляет методы и средства исследования другим областям, даже таким, где считается невозможным применение количественных методов из-за неформализуемости процессов и явлений. Особенно следует выделить в информатике методы математического моделирования и методы распознавания образов, практическая реализация которых стала возможной благодаря достижениям компьютерной техники. Тенденция ко всё большей информированности в обществе в существенной степени зависит от прогресса информатики как единства науки, техники и производства.

Каждая из частей информатики может рассматриваться как относительно самостоятельная научная дисциплина; взаимоотношения между ними примерно такие же, как между алгеброй, геометрией и

математическим анализом в классической математике – все они хоть и самостоятельные дисциплины, но, несомненно, части одной науки.

Теоретическая информатика – часть информатики, занимающаяся изучением структуры и общих свойств информации и информационных процессов. Она опирается на математическую логику и включает такие разделы как теория алгоритмов и автоматов, теория информации и теория кодирования, теория формальных языков и грамматик, исследование операций и другие. Этот раздел информатики использует математические методы для общего изучения процессов обработки информации. По своей природе информация дискретна и представляется обычно в символьно-цифровом виде в текстах и точечном виде на рисунках. С учётом этого в информатике широко используется *математическая логика* как раздел дискретной математики. Следующее направление теоретической информатики – *вычислительная математика*, которая разрабатывает методы решения задач на компьютерах с использованием алгоритмов и программ. Подраздел *теория информации (а также теория кодирования и передачи информации)* изучает информацию в виде абстрактного объекта, лишённого конкретного содержания. Здесь исследуются общие свойства информации и законы, управляющие её рождением, развитием и уничтожением. В *системном анализе* – изучается структура реальных объектов, явлений, процессов и определяются способы их формализованного описания через информационные модели. *Имитационное моделирование* – один из важнейших методов компьютерного моделирования, в котором воспроизводятся процессы и явления, протекающие в реальных объектах. Наконец, *теория принятия решений* изучает общие схемы выбора нужного решения из множества альтернативных возможностей. Такой выбор часто происходит в условиях конфликта или противоборства. Модели такого типа изучаются в *теории игр*.

Вычислительная техника – раздел, в котором разрабатываются общие принципы построения вычислительных систем. Речь идет не о технических деталях и электронных схемах, а о принципиальных решениях на уровне архитектуры вычислительных систем, определяющей состав, назначение, функциональные возможности и принципы взаимодействия устройств. Примеры принципиальных, ставших классическими решений в этой области – неймановская архитектура компьютеров первых поколений, шинная архитектура ЭВМ старших поколений, архитектура параллельной (многопроцессорной) обработки информации.

Программирование – деятельность, связанная с разработкой систем программного обеспечения. Здесь отметим лишь основные разделы современного программирования: создание системного и прикладного программного обеспечения. Среди системного – разработка новых языков программирования и компиляторов к ним, разработка интерфейсных систем. Среди прикладного программного обеспечения общего назначения самые популярные – система обработки текстов, электронные таблицы, системы управления базами данных. В каждой области предметных приложений информатики существует множество специализированных прикладных программ более узкого назначения. Программирование как научное направление возникло с появлением вычислительных машин и только программное обеспечение определяет эффективность использования ЭВМ. В настоящее время это достаточно продвинутое направление информатики. В этой области работает значительный отряд специалистов, которые подразделяются на системных и прикладных программистов. Системные программисты разрабатывают *системное программное обеспечение*, которое включает в себя операционные системы, языки программирования и трансляторы. *Операционные системы* обеспечивают функционирование вычислительной техники и предоставляют пользователю комфортные условия взаимодействия с компьютером. *Языки программирования* создаются для разработки прикладного программного обеспечения. Эти языки относятся к языкам высокого уровня, мнемоника и семантика которых близка к естественному языку общения людей. Есть ещё машинные языки, которые используются непосредственно в ЭВМ и которые состоят из последовательности машинных команд, закодированных в микропроцессорах. Для преобразования программ, написанных на языке высокого уровня, в программы на машинном языке используются специальные программы – *трансляторы*, которые также создаются системными программистами. *Прикладное* или проблемно-ориентированное программирование ориентировано на разработку пользовательских программ для решения тех или иных задач в различных областях науки, техники, производства. Например, в образовании используются пакеты *педагогических программных средств (ППС)*, в которые включаются обучающие и контролирующие программные средства в определённой предметной области.

Информационные системы – раздел информатики, связанный с решением вопросов по анализу потоков информации в различных сложных системах, их оптимизации, структурировании, принципах хранения и

поиска информации. Информационно-справочные системы, информационно-поисковые системы, гигантские современные глобальные системы хранения и поиска информации (включая Internet) привлекают внимание все большего круга пользователей. Без теоретического обоснования принципиальных решений в океане информации можно просто захлебнуться. Известным примером решения проблемы на глобальном уровне может служить гипертекстовая поисковая система WWW.

Искусственный интеллект – область информатики, в которой решаются сложнейшие проблемы, находящиеся на пересечении с психологией, физиологией, лингвистикой и другими науками. Именно искусственный интеллект определяет стратегические направления развития информатики. Основные направления разработок в этой области – моделирование рассуждений, компьютерная лингвистика, машинный перевод, создание экспертных систем и другие. И вечный вопрос – сможет ли компьютер думать и как научить его делать это? Искусственный интеллект тесно связан с **теоретической информатикой**, откуда он заимствовал многие модели и методы, например, использование логических средств для преобразования знаний. Столь же прочны связи этого направления с **кибернетикой**. **Математическая и прикладная лингвистика, нейрокибернетика и гомеостатика** теснейшим образом связаны с развитием **искусственного интеллекта**. Основная цель работ в области искусственного интеллекта - стремление проникнуть в тайны творческой деятельности людей, их способности к овладению знаниями, навыками и умениями. Для этого необходимо раскрыть те глубинные механизмы, с помощью которых человек способен научиться практически любому виду деятельности. И если суть этих механизмов будет разгадана, то есть надежда реализовать их подобие в искусственных системах, т.е. сделать их по-настоящему интеллектуальными. Такая цель исследований в области искусственного интеллекта тесно связывает их с достижениями психологии - науки, одной из задач которой является изучение интеллекта человека. В психологии сейчас активно развивается особое направление - **когнитивная психология**, исследования в котором направлены на раскрытие закономерностей и механизмов, связанных с процессами познавательной деятельности человека и которые интересуют специалистов в области искусственного интеллекта. Другое направление психологии - **психолингвистика** также интересует специалистов в области искусственного интеллекта. Её результаты касаются моделирования общения не только с помощью естественного языка, но и с использованием иных средств: жестов, мимики, интонации и т.п. Кроме теоретических исследований активно развиваются и прикладные аспекты искусственного интеллекта. Например, **робототехника** занимается созданием технических систем, которые способны действовать в реальной среде и частично или полностью заменить человека в некоторых сферах его интеллектуальной и производственной деятельности. Такие системы получили название роботов. **Экспертная система** - еще одно прикладное направление искусственного интеллекта. В отличие от других интеллектуальных систем, экспертная система имеет три главные особенности: 1 - она адаптирована для любого пользователя, 2 - она позволяет получать не только новые знания, но и профессиональные умения и навыки, связанные с данными знаниями, т.е. не только даёт **знать что...**, но и **знать как...**, 3 - она передаёт не только знания, но и пояснения и разъяснения, т.е. обладает обучающей функцией.

Прикладная информатика. Достижения современной информатики широко используются в различных областях человеческой деятельности: в научных исследованиях (**АСНИ** - автоматизированные системы для научных исследований), в разработке новых изделий (**САПР** - системы автоматизированного проектирования), в информационных системах (**АИС** - автоматизированные информационные системы), в управлении (**АСУ** - автоматические системы управления), в обучении (**АОС** - автоматизированные обучающие системы) и др. Следует подробнее остановиться на характеристике информационной системы.

Информационная система - это взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели. Структурно ИС состоит из **технического, математического, программного, информационного и организационного обеспечения**. **Техническое обеспечение** - это комплекс технических средств (компьютеры, устройства сбора, накопления, обработки, передачи и вывода информации, устройства передачи данных и линий связи и т.д.) и документация на них и на технологические процессы обработки данных. **Математическое и программное обеспечение** - совокупность математических методов, моделей, алгоритмов и программ. **Информационное обеспечение** - банк данных, блок расшифровки запросов и блок поиска. **Организационное обеспечение** - совокупность методов и средств, регламентирующих взаимодействие пользователей с техническими средствами системы.

Вычислительная техника. Раздел информатики, посвящённый вычислительной технике.



Рис. 2. Структура **Информатики** как научной и прикладной дисциплины, включая теоретическую информатику, искусственный интеллект, программирование, прикладную информатику, вычислительную технику, кибернетику.

Кибернетика. В 40-е годы наряду с идеей об универсальности схем управления в кибернетике развиваются и другие идеи: идея универсальной символики, идея логического исчисления, идея измерения информации через понятия вероятностной и статистической (термодинамической) теорий. В состав технической кибернетики входит теория **автоматического управления**, которая стала теоретическим фундаментом автоматизации. Ведущее место в кибернетике занимает **распознавание образов**. Основная задача этой дисциплины - поиск решающих правил, с помощью которых можно было бы классифицировать многочисленные явления реальности, соотносить их с некоторыми эталонными классами. **Распознавание образов** - это пограничная область между **кибернетикой** и **искусственным интеллектом**, ибо поиск решающих правил чаще всего осуществляется путём обучения, а обучение, конечно, интеллектуальная процедура.

Ещё одно научное направление связывает кибернетику с биологией. Аналогии между живыми и неживыми системами многие столетия волнуют учёных. Насколько принципы работы живых систем могут быть использованы в искусственных объектах? Ответ на этот вопрос ищет **бионика** - пограничная наука между кибернетикой и биологией. В свою очередь, **нейрокибернетика** пытается применить кибернетические модели в изучении структуры и действия нервных тканей. Недавно в кибернетике возникла - **гомеостатика**, изучающая равновесные (устойчивые) состояния сложных взаимодействующих систем различного типа. Это могут быть биологические системы, социальные системы, автоматические системы и др. Наконец, **математическая лингвистика** занимается исследованием особенностей естественных языков, а также грамматик), позволяющих формализовать синтаксис и семантику таких языков. Это направление актуально в связи с развитием систем машинного перевода текстов с одних языков на другие

2.6 Информационные системы

Информационная система (ИС) - система, реализующая информационную модель предметной области, чаще всего - какой-либо области человеческой деятельности. ИС должна обеспечивать: получение (ввод или сбор), хранение, поиск, передачу и обработку (преобразование) информации.

Информационная система (или информационно-вычислительная система) - совокупность взаимосвязанных аппаратно-программных средств для автоматизации накопления и обработки информации.

Информационная система – совокупность содержащейся в базах данных информации (сведения/сообщения/данные независимо от формы их представления) и обеспечивающих ее обработку информационных технологий (процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов) и технических средств.

В информационную систему данные поступают от источника информации. Эти данные отправляются на хранение либо претерпевают в системе некоторую обработку и затем передаются потребителю. Между потребителем и собственно информационной системой может быть установлена

обратная связь. В этом случае информационная система называется *замкнутой*. Канал обратной связи необходим, когда нужно учесть реакцию потребителя на полученную информацию. Информационная система состоит из **баз данных**, в которых накапливается информация, **источника информации**, **аппаратной части ИС**, **программной части ИС**, **потребителя информации**. По мнению одних авторов, ИС включает в себя персонал, её эксплуатирующий, по мнению других - нет.

Ручные информационные системы характеризуются отсутствием современных технических средств переработки информации и выполнением всех операций человеком. Например, о деятельности менеджера в фирме, где отсутствуют компьютеры, можно говорить, что он работает с ручной ИС. Автоматизированные информационные системы (АИС) - наиболее популярный класс ИС. Предполагают участие в процессе накопления, обработки информации баз данных, программного обеспечения, людей и технических средств. Автоматические информационные системы выполняют все операции по переработке информации без участия человека, различные роботы. Примером автоматических информационных систем являются некоторые поисковые машины Интернет, например Google, где сбор информации о сайтах осуществляется автоматически поисковым роботом и человеческий фактор не влияет на ранжирование результатов поиска. Обычно термином ИС называют автоматизированные информационные системы.

Информационно-поисковая система - система для накопления, обработки, поиска и выдачи интересующей пользователя информации. Информационно-аналитические системы - класс информационных систем, предназначенных для аналитической обработки данных с использованием баз знаний и экспертных систем. Информационно-решающие системы - системы, осуществляющие накопление, обработку и переработку информации с использованием прикладного программного обеспечения: управляющие информационные системы с использованием баз данных и прикладных пакетов программ; советующие экспертные информационные системы, использующие прикладные базы знаний, ситуационные центры (информационно-аналитические комплексы)

Информационные системы можно классифицировать по архитектуре: локальные ИС (работающие на одном электронном устройстве, не взаимодействующем с сервером или другими устройствами); клиент-серверные ИС (работающие в локальной или глобальной сети с единым сервером); распределенные ИС (децентрализованные системы в гетерогенной многосерверной сети).

По сфере применения информационные системы классифицируются:

- Информационные системы организационного управления - обеспечение автоматизации функций управленческого персонала.
- Информационные системы управления техническими процессами - обеспечение управления механизмами, технологическими режимами на автоматизированном производстве.
- Автоматизированные системы научных исследований - программно-аппаратные комплексы, предназначенные для научных исследований и испытаний.
- Информационные системы автоматизированного проектирования - программно-технические системы, предназначенные для выполнения проектных работ с применением математических методов.
- Автоматизированные обучающие системы - комплексы программно-технических, учебно-методической литературы и электронные учебники, обеспечивающих учебную деятельность.
- Интегрированные информационные системы - обеспечение автоматизации большинства функций предприятия.
- Экономическая информационная система - обеспечение автоматизации сбора, хранения, обработки и выдачи необходимой информации, предназначенной для выполнения функций управления.

Модельные информационные системы позволяют установить диалог с моделью в процессе её исследования (предоставляя при этом недостающую для принятия решения информацию), а также обеспечивает широкий спектр математических, статистических, финансовых и других моделей, использование которых облегчает выработку стратегии и объективную оценку альтернатив решения. Использование экспертных информационных систем связано с обработкой знаний для выработки и оценки возможных альтернатив принятия решения пользователем. Реализуется на двух уровнях: *Первый уровень* (концепция «типового набора альтернатив») — сведение проблемных ситуаций к некоторым однородным классам решений. Экспертная поддержка на этом уровне реализуется созданием информационного фонда хранения и анализа типовых альтернатив. *Второй уровень* — генерация альтернативы на основе правил преобразования и процедур оценки синтезированных альтернатив, используя базу имеющихся в информационном фонде данных. Экспертные системы представляют совокупность фактов, сведений и данных с системой правил логического вывода информации на основании логической модели баз данных и

баз знаний. Базы данных содержат совокупность конкретных данных, а базы знаний - совокупность конкретных и обобщенных сведений в рамках логической модели базы знаний.

2.7 Информационная модель

Информационная модель - модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта.

Информационные модели нельзя потрогать или увидеть, они не имеют материального воплощения, потому что строятся только на информации. Информационная модель – совокупность информации, характеризующая существенные свойства и состояния объекта, процесса, явления, а также взаимосвязь с внешним миром. Информационная модель - формальная модель ограниченного набора фактов, понятий или инструкций, предназначенная для удовлетворения конкретному)

Типы информационных моделей, отличающиеся по характеру запросов к ним: моделирование отклика системы на внешнее воздействие; классификация внутренних состояний системы; прогноз динамики изменения системы; оценка полноты описания системы и сравнительная информационная значимость параметров системы; оптимизация параметров системы по отношению к заданной функции ценности; адаптивное управление системой

Уровни моделей включают в себя: структуры; поведения; результатов. Любая модель имеет цель. Обычно цель определяет точку зрения модели. Свойства модели: цель (target); точка зрения (view); полнота; целостность и непротиворечивость; адекватность и согласованность с оригиналом (coherent); сложность; избыточность; архитектура.

Информационными моделями мы займёмся в следующей лекции.

*__*__*

Таким образом, информатика базируется на следующих основных и важных понятиях: информация и сообщение, в частности, получение, переработка, сжатие, актуализация информации сообщениями различного типа; алгоритм и алгоритмизация, в частности, программа и программный комплекс, проектирование программ и программирование; система и структура, отношение и связь, порядок, выбор, в частности, информационные система и структура, отношения в них; модель и моделирование, в частности, описание и исследование систем с помощью моделей и моделирования; исполнитель и его операционная среда, в частности, ЭВМ и система ЭВМ; языки и грамматики, в частности, алгоритмические языки, языки программирования, языки общения с различными системами и средами; проектирование систем и технология, в частности, информационная, компьютерная технология.

Предметная область науки “информатика” - информационные процессы и системы, модели, языки их описания, технологии их актуализации, направленные как на получение знаний (это - внутренняя сущность информатики), так и на применение знаний, принятие на их основе решений в различных предметных областях (это - внешняя сущность информатики). Эти информационные процессы могут происходить в живых существах (организмах), автоматах (технических устройствах), обществе, в индивидуальном и общественном сознании.

Профессор
Игорь Н. Бекман

ИНФОРМАТИКА

Курс лекций

Лекция 2. ИНФОРМАЦИЯ

Информатика, информационные технологии и кибернетика имеют дело с информацией, но что такое информация до сих пор не известно. Существование порядка 500 «научных» определений термина «информация» лишь свидетельствует о степени разброда и шатания, царящего в данной области.

Для определённости, в этом курсе лекций мы будем понимать любые сведения и данные, отражающие свойства объектов в природных (биологических и др.) социальных и технических системах и передаваемые звуковым, графическим (в т.ч. письменным) или иным способом без применения или с применением технических средств.

В данной лекции мы приведём ряд определений термина информация и покажем, что основными являются три вида информации: физическая (в форме термодинамической и статистической), техническая (кибернетическая, компьютерная или шенноновская) и смысловая (семантическая). Квантовой информацией, энтропией фон Неймана, и энтропией Колмогорова-Синяя мы займёмся в конце курса. Коротко рассмотрим методы определения количества технической информации, рассмотрим свойства смысловой информации и способы оценки её качества и ценности, и поговорим об информационных законах.

Базовым понятием информатики является информация. Любая деятельность человека (*и не только, человека, бродячей собаки, к примеру*) представляет собой процесс сбора и переработки информации, принятия на её основе решений и их выполнения.

Многие (*но не все!*) учёные относят информацию к одной из исходных категорий мироздания наряду с материей, энергией и временем. Эти категории тесно взаимосвязаны между собой. Эти связи можно усмотреть и в природе и процессах, порожденных как отдельным человеком, так и обществом. Пример связи этих категорий в природных явлениях - переход жидкости из твёрдого состояния в жидкое. Здесь есть материальные преобразования, энергетические затраты, а также потеря информации относительно расположения атомов. Примерами связи материя-энергия-информация в обществе являются: 1) образовательный процесс – это сам по себе процесс информационный и, конечно, он требует материального, энергетического обеспечения; 2) любое управление, например автомобилем. Однако есть существенное отличие информации от вещества и энергии – она может возникать и исчезать.

Прогресс человечества неизбежно влечёт увеличение общего объёма информации, которым оно располагает, причём объём этот растёт гораздо быстрее, чем население земного шара и его материальные потребности. Таким образом, можно утверждать, что значимость информации по отношению к двум другим рассмотренным категориям постепенно возрастает.

**Информация есть информация
и ничто другое.
И этого достаточно!**

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ ИНФОРМАЦИЯ

Понятие «информация» - есть первичное и неопределяемое понятие (как, например «точка» в геометрии, «множество» в математике).

Слово «информация» в переводе с латинского означает «сообщение», «разъяснение».

Первоначально смысл слова «информация» трактовался как нечто присущее только человеческому сознанию и общению – знания, сведения, известия. Затем смысл этого слова начал расширяться и обобщаться. Так, одним из всеобщих свойств материи (наряду с движением, развитием, пространством, временем и др.) было признано отражение, заключающееся в способности адекватно отображать одним реальным объектом другие реальные объекты, а сам факт отражения одного объекта в другом и означает

присутствие в нём информации об отражаемом объекте. Если состояния одного объекта находятся в соответствии с состояниями другого объекта (например, соответствие между положением стрелки вольтметра и напряжением на его клеммах или соответствие между нашим ощущением и реальностью), то один объект отражает другой, т. е. содержит информацию о другом. Высшей, специфической формой отражения является сознание человека.

Особенностью понятия «информация» является его универсальность - оно используется во всех без исключения сферах человеческой деятельности: в философии, естественных и гуманитарных науках, в биологии, медицине, в психологии человека и животных, в социологии, искусстве, в технике и экономике и, конечно, в повседневной жизни.

До появления компьютерной техники слово информация использовалось редко, в основном в специальной и технической литературе.

Вплоть до начала XX века слово «информация» не встречалось ни в одном периодическом издании, ни в одном толковом словаре. В России оно появляется лишь в «Толковом словаре русского языка» под редакцией Н. Д. Ушакова, изданном в 1935 году, и определяется как действие по глаголу «информировать», как осведомление о чём-либо.

В обычном разговорном языке слово «информация» появилось гораздо раньше. Оно пришло из латинского, в центре Европы имело хождение в основном в журналистских кругах и означало процесс информирования, как сейчас говорят «широких кругов общественности» о важнейших событиях (войны, коронации, географические открытия и т. п.) в жизни общества. В этом же значении во времена Петра I оно пришло в русский язык (в основном — в официальный), как полагают, - из Польши.

Широко в разговорном языке это слово начинает появляться только в сороковых годах прошлого века одновременно с перенесением его основного значения с глагольной формы (процесса информирования) на предметную, на содержание передаваемых при таком информировании сведений. В это же время оно всё чаще и чаще появляется в научных публикациях и технических текстах, приобретая статус научного термина, а позже - общенаучной категории. (ещё один вид понятия, ещё одна «высокая должность» слова). Такая его трансформация связана с социальным развитием и вызванным им (социальным развитием) техническим прогрессом, который, в свою очередь, это развитие ускорил. В этот период истории человеческое сообщество осознало, что его развитие - это вовлечение в орбиту общественных (в основном - производственных) отношений всё более масштабных технических комплексов, построение и использование которых требует не только огромных материальных и энергетических затрат, но и всё возрастающих объёмов знаний.

Именно синонимом слова «знания», стало слово «информация» в формирующейся науке об информации. Она тогда называлась «информатикой» и сводилась к инвентаризации, структурированию и упорядочению достижений науки и техники, к созданию условий своевременного о них информирования (в форме библиографий, каталогов, библиотечных картотек, реферативных журналов, справочников и т.п.) заинтересованных в этом социальных субъектов, что обеспечивало быстрый поиск нужных знаний, их доступность в целях эффективного использования в личных и общественных интересах.

Впервые понятие «информация» как научный термин использовал статистик биолог Фриш. Термин информация приводится также в книге Н. Винера «Кибернетика», однако лишь в узком смысле - как «количество информации», причём не любой информации, а кодированной. В настоящее время термин информация используется широко в быту, на производстве, в науке, образовании, технической литературе и др. При этом, смысл термина «информация» столь широк, что зачастую может придти в противоречие с контекстным содержанием. Предпринимались попытки дать фундаментальное, универсальное толкование этого термина, отображающее его мировоззренческий, философский смысл наряду с такими философскими категориями как вещество и энергия. И если два последних понятия отображают материальный мир, то в противовес этому термин «информация» связывается с идеальными, нематериальными субстанциями. Информация - это содержание сообщения, сигнала, памяти, а также сведения, содержащиеся в сообщении, сигнале или памяти.

К настоящему времени различных определений этого термина накопилось где-то около пятисот, но список не закрыт, так как дать однозначного и чёткого определения информации до сих пор никому не удалось, и вряд ли когда удастся. По крайней мере, в наше время довольно распространено мнение, что информация наряду с материей и энергией является первичным понятием нашего мира и поэтому в строгом смысле не может быть определена.

Попытки связать информацию с привычными понятиями материя или энергия успехом не увенчались. Тем не менее, определений информации существует множество. Начнём с более-менее общепринятых.

Сводная энциклопедия Википедия выдаёт по этому поводу следующее:

Информация (от лат. informatio — осведомление, разъяснение, изложение)

- сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления.

- абстрактное понятие, имеющее множество значений, в зависимости от контекста.

(Что правда, то правда! Именно что в зависимости от контекста)

Толковый словарь русского языка Ожегова приводит два определения слова «информация»:

Информация - сведения об окружающем мире и протекающих в нём процессах, воспринимаемые человеком или специальным устройством.

(А животные-птицы, рыбы-насекомые (пчёлы, к примеру), каким специальным устройством воспринимают информацию?!)

Информация - сообщения, осведомляющие о положении дел, о состоянии чего-нибудь. (Научно-техническая и газетная информации, средства массовой информации - печать, радио, телевидение, кино).

(А космические объекты (звёзды, галактики, кометы) тоже обмениваются информацией через средства массовой коммуникации?! А информация, циркулирующая в муравейнике отражается в местных газетах?!)

Информация - внесённое взаимодействием в структуру одной (отображающей) материальной системы чуждое ей содержание, которое представлено (выглядит) искажениями её нормальной структуры и характеризует совсем другую (отображаемую) материальную систему.

Информация - результат взаимодействия материальных систем. Она объективно существует в любой материальной системе в форме неких неспецифичных (чуждых) для сущности этой системы её структурных особенностей. Содержанием этой информации являются особенности (свойства) других материальных систем - систем, которые при взаимодействии с первой, её структуру исказили сообразно этим своим особенностями.

Согласно экономическому словарю:

Информация (*informatio* - осведомлять) - 1) любое сообщение о чём-либо; 2) сведения, данные, значения экономических показателей, являющиеся объектами хранения, обработки и передачи и используемые в процессе анализа и выработки экономических решений в управлении; 3) один из видов ресурсов, используемых в экономических процессах, получение которого требует затрат времени и других видов ресурсов, в связи с чем эти затраты следует включать в издержки производства и обращения; 4) одна из трех фундаментальных субстанций (вещество, энергия, информация), составляющих сущность мироздания и охватывающих любой продукт мыслительной деятельности, прежде всего - знания, образы.

Согласно официальным источникам

По российскому ГОСТу 7.0-99:

Информация - сведения, воспринимаемые человеком и (или) специальными устройствами как отражение фактов материального или духовного мира в процессе коммуникации.

По российскому федеральному закону от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (Статья 2):

Информация — сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления.

Замечание. Кажется странным, что российские законы из трёх основ нашего мироздания касаются только информации. Жаль, что два других столпа: вещество и энергия ими до сих пор не охвачены. Интересно было бы узнать из федеральных законов, что такое вещество по-русски и энергия по-русски. А то чем они отличаются от немецких или там японских пока не ясно...

Главный научный центр СССР в области научной информации - ВИНТИ в своё время дал такое определение:

Информация - объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в изменении состояний этих объектов.

(Тут уже хорошо, что человек, наконец, исчез из определения информации).

Разные энциклопедии и словари дают разные определения информации.

Информация - продукт взаимодействия данных и методов, рассмотренный в контексте этого взаимодействия.

Информация - одно из наиболее общих понятий науки, обозначающее некоторые сведения, совокупность каких-либо данных, знаний и т.п.

Информация первоначальная - сведения, передаваемые людьми устным, письменным или другим способом (с помощью условных сигналов, технических средств и т. д.); с середины 20 в. общенаучное понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом; обмен сигналами в животном и растительном мире; передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму; одно из основных понятий кибернетики.

Информация: 1. Сообщение о положении дел где-либо, о состоянии чего-либо. 2. Сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специальными устройствами. Обмен такими сведениями между людьми и специальными устройствами. Обмен сигналами в животном и растительном мире. 3. То же, что: информирование

Информация – 1) Сообщение о некотором положении дел, передаваемое людьми. 2) Величина уменьшаемой неопределенности в результате получения сообщения. 3) Управленческие сигналы в единстве их синтаксические, семантические и прагматические. характеристик. 4) Мера разнообразия в объектах и процессах и т. д.

Понятие «информация» используется в различных науках, при этом в каждой науке термин «информация» связан с различными системами понятий.

Информация в биологии: Биология изучает живую природу и понятие «информация» связывается с целесообразным поведением живых организмов. В живых организмах информация передается и хранится с помощью объектов различной физической природы (состояние ДНК), которые рассматриваются как знаки биологических алфавитов. Генетическая информация передается по наследству и хранится во всех клетках живых организмов.

Философский подход: Информация – это взаимодействие, отражение, познание.

Кибернетический подход: Информация – это характеристики управляющего сигнала, передаваемого по линии связи. Это та часть знаний, которая используется для ориентирования, активного действия, управления, т.е. в целях сохранения, совершенствования, развития системы (Н. Винер). В теории управления (кибернетике) в качестве информации рассматриваются те сообщения, которые система получает из внешнего мира в процессе адаптивного управления (приспособления). Информация уменьшает общую неопределенность и информационной энтропии (неизвестности) и доступна измерению как мера устранения неопределенности в системе.

Юридический подход: Информация - один из видов объектов гражданских прав, предусмотренных ст.128 ГК РФ. В самом Гражданском кодексе нет определения понятия информации и предусмотрена защита только для более узкого объекта данного вида — служебной и коммерческой тайны. В соответствии с федеральным законом «Об информации, информатизации и защите информации» от 20.02.1995. Информация представляет собой сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах, независимо от формы их представления.

Известны следующие подходы к определению информации:

- традиционный (обыденный) - используется в информатике: **Информация** – это сведения, знания, сообщения о положении дел, которые человек воспринимает из окружающего мира с помощью органов чувств (зрения, слуха, вкуса, обоняния, осязания). Здесь **информация** - сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы их представления.

- вероятностный - используется в теории об информации: **Информация** – это сведения об объектах и явлениях окружающей среды, их параметрах, свойствах и состоянии, которые уменьшают имеющуюся о них степень неопределенности и неполноты знаний.

Для человека: **Информация** – это знания, которые он получает из различных источников с помощью органов чувств

Знание - форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека. Выделяют различные виды знания: научное, обыденное (*здравый смысл*), интуитивное, религиозное и др. Обычно знания делят на две группы: 1) Декларативные – от слова декларация (утверждения, сообщения) начинаются со слов «Я знаю, что ...»; 2) Процедурные – определяют действия для достижения какой-либо цели, начинаются со слов «Я знаю, как ...»

В обиходе информацией называют любые данные или сведения, которые кого-либо интересуют. Например, сообщение о каких-либо событиях, о чьей-либо деятельности и т.п. "*Информировать*" в этом смысле означает "*сообщить нечто, неизвестное раньше*".

В технике под информацией понимают сообщения, передаваемые в форме знаков или сигналов.

Применительно **к компьютерной обработке данных** под информацией понимают некоторую последовательность символических обозначений (букв, цифр, закодированных графических образов и звуков и т.п.), несущую смысловую нагрузку и представленную в понятном компьютеру виде. Каждый новый символ в такой последовательности символов увеличивает информационный объем сообщения.

Приведем набор разных определений информации:

Информация - это не вещество и не энергия, это информация (Н.Винер)

Информация – обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств (Н.Винер)

Информация – мера организованности системы, точно также энтропия системы есть мера дезорганизованности системы. (Н. Винер)

Информация – снятая неопределенность наших знаний о чём-то (К. Шеннон)

Информация - мера изменения во времени и пространстве структурного разнообразия систем (К.Шеннон);

Информация - мера изменения во времени и пространстве структурного разнообразия систем (Эшби).

Информация - знания, переданные кем-то другим или приобретенные путём собственного исследования или изучения;

Информация - сведения, содержащиеся в данном сообщении и рассматриваемые как объект передачи, хранения и обработки;

Информация - сведения, известия, в научно-технических приложениях - то, что имеет на себе сигнал

Информация – нематериальная составляющая материального мира.

Информация – мера сокращения неизвестности;

Информация – мера упорядоченности материи;

Информация - сведения об объектах и явлениях окружающей среды, их параметрах, свойствах и состоянии, которые уменьшают имеющуюся о них степень неопределенности, неполноты знаний (Н.В. Макарова);

Информация - отрицание энтропии (Леон Бриллюэн);

Информация - мера сложности структур (Моль);

Информация - отраженное разнообразие (Урсул);

Информация – отражение материального мира;

Информация - связи, установленные между воздействием и реакцией на него;

Информация - содержание процесса отражения (Тузов);

Информация - вероятность выбора (Яглом);

Информация - то, что изменяет нас (Грегори Бэйтсон);

Информация - суть представления факта (или послания) для получателя (Хорнунг);

Информация - связи, установленные между воздействием и реакцией на него (Дёмин А.И.);

Информация - семантическое отражение бытия в языковой (знаковой) форме, создаваемое и актуализируемое в коммуникациях в виде сообщения, понимаемого в контексте определённой социокультуры. Высшей формой информации является знание – организованная и имеющая ценность информация.

Информация - мера определенности, которую живые объекты или их части вносят во взаимодействия живых объектов, их частей, элементов внешней среды в процессе синтеза живых объектов.

Информация - вербальная конвенциональная категория коллективного знания людей определяющая определенное свойство взаимодействия явлений природы, определяемых человеком, при котором участники взаимодействия существуют в обстоятельствах определяющих взаимодействие, представленных свидетелями взаимодействия, способных определять причину и следствие взаимодействия и отсюда наделять участников взаимодействия характеристикой источника или приёмника информации (Дёмин А.И.).

Информация - степень изменения знаний субъекта, т.е. известной ему структурированной совокупности сведений, выражаемых через его внутреннюю структуру (С. Расторгуев).

Информация - универсальное свойство материи, представляющее собой распространение в пространстве и времени содержания объектов (явлений) действительности посредством объективно существующих носителей различной природы (И. М. Левкин).

Информация – данные, организованные таким образом, что имеют смысл для имеющего с ними дело человека».

Информация – 1) сведения, сообщение о чем-либо, передаваемое людьми; 2) уменьшаемая, снижаемая неопределенность в результате полученных сведений; 3) передача, отражение разнообразия;

Информация – сведения, воспринимаемые человеком и/или специальными устройствами как отражение фактов материального или духовного мира;

Информация, первоначально - сведения, передаваемые людьми, устным, письменным или другим способом (с помощью условных сигналов, технических средств и т.д.); общенаучное понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом; обмен сигналами в животном и растительном мире; передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму.

Информация - это понимание (смысл, представление, интерпретация), возникающее в аппарате мышления человека после получения им данных, взаимоувязанное с предшествующими знаниями и понятиями.

Информация - содержание сообщения или сигнала, сведения, рассматриваемые в процессе их передачи или восприятия; одна из исходных общенаучных категорий, отражающая структуру материи и способы её познания, несводимая к другим, более простым понятиям.

Информация – 1) что-то сказанное, новости; знание, полученное любым способом; 2) в информационной теории и теории компьютеров: это точная мера информации, измеренная в битах и охватывающая диапазон от нуля (это когда все известно заранее) и до какого-то максимального значения, когда ничего заранее о содержании сообщения не известно; 3) любые данные, хранящиеся в компьютере;

Информация - данные или массив данных, упорядоченные определённым образом, вносящие изменения в принимающую систему, и изменяющие её состояние или поведение. Передаётся через носитель. Имеет свойство полного исчезновения.

Информация означает порядок, коммуникация есть создание порядка из беспорядка или по крайней мере увеличение степени той упорядоченности, которая существовала до получения сообщения.

Приводимые ниже определения в известной мере повторяются.

Информация - это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств;

Информация - одно из свойств предметов, явлений, процессов объективной действительности, созданных человеком управляющих машин, заключающееся в способности воспринимать внутреннее состояние и воздействие окружающей среды и сохранять определенное время результаты его; передавать сведения о внутреннем состоянии и накопленные данные другим предметам, явлениям и процессам;

Информация - объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в изменении состояний этих объектов;

Информация есть текущие данные о переменных величинах в некоей области деятельности, систематизированные сведения относительно основных причинных связей, которые содержатся в знании как понятия более общего класса, по отношению к которому информация является подчиненной;

Информация есть знание о каком-то особом событии, случае или о чём-либо подобном;

Информацией являются все те данные о внешнем мире, которые мы получаем как путем непосредственного воздействия на наши органы чувств окружающих предметов и явлений, так и опосредованным путем через книги, газеты, рассказы других людей;

Информацией называется всякое сообщение или передача сведений о чем-либо, что заранее не было известно.

Среди философов популярны дефиниции, содержащие термин «отражение»:

Информация в самом общем случае - это разнообразие, которое один объект содержит о другом, это взаимное, относительное разнообразие. С позиций теории отражения информация может быть представлена как отраженное разнообразие, как разнообразие, которое отражающий объект содержит об отраженном;

Информация есть отражение в сознании людей объективных причинно-следственных связей в окружающем нас реальном мире;

Информация - это содержание процессов отражения;

Информация не тождественна отражению, а есть лишь его инвариантная часть, поддающаяся определению, объективированию, передаче.

Информация - это философская категория, рассматриваемая наряду с такими, как пространство, время, материя. В самом общем виде информацию можно представить как сообщение, т.е. форму связи между источником, передающим сообщение и приемником, его принимающим.

Определения такого типа можно суммировать в виде утверждения:

Информация есть отражение отображения наших соображений.

Такого определения в литературе нет. По стилю оно соответствует творениям Кузьмы Пруtkова (например, его миниатюре «Спор древнегреческих учёных о прекрасном»). Тем не менее, по глубине и смыслу (если кто либо попытается его в нём найти), оно не уступает приведенным выше.

В философском энциклопедическом словаре (1983) приведено:

Информация (от лат. informatio - ознакомление, разъяснение, представление, понятие) 1) сообщение, осведомление о положении дел, сведения о чем-либо, передаваемые людьми; 2) уменьшаемая, снимаемая неопределенность в результате получения сообщений; 3) сообщение, неразрывно связанное с управлением, сигналы в единстве синтаксических, семантических и прагматических характеристик; 4) передача, отражение разнообразия в любых объектах и процессах (неживой и живой природы).

Особое место в коллекции определений занимают утверждения о том, что информация - это алгоритм:

Информация - план строения клетки и, следовательно, всего организма. Информация здесь трактуется как «инструкция» к самоорганизации в процессе эволюции биологических структур.

Информация - некий алгоритм - совокупность приемов, правил, сведений, необходимых для построения оператора. Под словом «оператор» здесь понимается некое стороннее воздействие на систему, изменяющее спонтанный ход событий.

Большое число похожих и непохожих друг на друга определений понятия «информация» означает, что общепринятого определения ещё нет. Более того, нет даже чёткого понимания сути этого явления, хотя потребность в нем уже назрела. Сейчас область применимости информационного подхода существенно

расширилась. Понятие «информация» используется при исследовании практически всех процессов самоорганизации (в частности биологической эволюции). При этом актуальным становится вопрос о возникновении информации и эволюции её ценности. Здесь без определения понятий уже не обойтись. Выбор определения зависит от аппарата исследования, иными словами, определение должно быть конструктивным, то есть пригодным для использования в рамках аппарата. Тогда

Информация - случайный и запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных.

Здесь слово «случайный» выделено, поскольку оно относится к процессу (способу) выбора и потому сужает область применимости определения. Вообще говоря, выбор может быть и не случайным (подсказанным), в этом случае говорят о рецепции информации. Случайный выбор соответствует генерации (то есть спонтанному возникновению) информации. Поэтому слово «случайный» мы в определении информации опустим, но учтём его при обсуждении процессов генерации и рецепции. Слово «запомненный» относится к фиксации информации. Выбор может и не запоминаться (то есть тут же забываться). Такой выбор называется микроинформацией. Запомненный выбор (в отличие от незапоминаемого) называется макроинформацией. Во всех информационных процессах используется макроинформация (запоминаемая). Микроинформация используется главным образом в физических спекуляциях по поводу «демона Максвелла». Слова «возможных и равноправных» означают, что варианты выбора принадлежат одному множеству и различия между ними не велики. В идеале варианты могут быть полностью равноправны и равновероятны, но могут и отличаться. В этом случае слово «равноправные» означает, что априорные вероятности различных выборов - величины одного порядка.

С учетом сказанного прием определение информации в виде:

Информация - запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных.

Это определение не противоречит предыдущим, когда речь идёт о реальных задачах. Так, определение информации как инструкции или оператора в конкретных случаях сводится к указанию, какой именно выбор следует сделать в том или ином случае. Согласно этому определению информация предстаёт как нечто конкретное и приземлённое, ощущение чего-то сверхъестественного и романтического в нём отсутствует, исчезает ореол божественного. Это определение позволяет понять такие тонкие явления как возникновение жизни и механизмы мышления. Иными словами - построить мост между естественными науками и гуманитарными. Это определение допускает введение меры - количества информации.

Из всего множества определений и толкований термина «информация», можно выделить четыре, вокруг которых объединяются почти все остальные.

- 1) **Информация** - неотъемлемый атрибут материи, информация - отраженное многообразие.
- 2) **Информация** - это то, что образуется в аппарате мышления у человека. Это субъективное понятие синонимичное понятию «знание», «значение», «смысл».
- 3) **Информация** - это то, что передается в естественных и искусственных системах и является формой, средством передачи информации во втором значении этого термина, т. е. является средством передачи знания, значения, смысла. В этом случае синонимом термина «информация» является термин «данные».
- 4) **Информация** - это интегрированное понятие, которое можно рассматривать в системах «объект познающий - объект познаваемый», «объект управляющий - объект управляемый», «объект обучающий — объект обучаемый», то в значении «смысл», если речь идёт о смысле познания, управления, обучения, то в значении «данные», если речь идёт о средствах передачи этого смысла.

Самое простое и очевидное определение дал президент Международной академии информатизации И.И. Юзвизин:

Информация - фундаментальный генерализационно-единый безначально-бесконечный законопроцесс резонансно-сотового, частотно-квантового и нульсингулярного самоотношения, самоотражения, отношения, взаимодействия, взаимопревращения, взаимосохранения (в пространстве и времени) энергии и движения на основе материализации и дематериализации в вакуумосферах и материосферах Вселенной.

К этому определению у меня лишь один вопрос: откуда взялся вакуум? Понятно: природа не терпит пустоты, по сему, вакуум полон физического смысла. Но не в такой же степени!

Как просвещает нас «Энциклопедия информатиологии»

Информация - прообраз **информационна**, т.е. начальной субэлементарной частицы - носителя свойств информационногенного поля всего сущего. Информация - вездесущая, она - внутри нас, вне нас и во всей Вселенной; это... универсальное начало всех начал; информация первична, материя - вторична. Информация - универсальный генеративный ресурс Вселенной, безальтернативный первоисточник развития и благосостояния народов Мира... Все науки представляют собой ветви единого вегетативно-генеративного дерева, которым является информация.

Панинформистскому подходу Юзвизина противостоит нигилистический подход Сетрова:

Информация - пустое множество, поскольку информацию невозможно идентифицировать. «Никто еще не видел ни как субстанцию, ни как свойство эту загадочную информацию. Почему? Да потому, что **её не существует в природе**, как не существует флюидов, флогистона, эфира», - утверждает М.И. Сетров. В сфере документальных коммуникационных наук – информация - чистый вымысел.

(Информации может и нет, а информатика-то есть, и это хорошо – есть, что студентам сдавать, а преподавателям преподавать, все при деле!)

Некоторые учёные отказывают существованию информации в первом мире - мире физической реальности, и во втором мире - мире личностной психологии, но признают её наличие в третьем мире - мире общественного знания, где бытуют художественные образы и научные знания, мифы о прошлом и мечты о будущем.

Существуют шесть основных философских концепций, которые занимаются изучением информации, как научного понятия.

Первая концепция отрицает существование информации. Информация воспринимается как призрак, ошибочное представление науки, как то, чего никто никогда не видел, не ощущал и не фиксировал с помощью какой-либо аппаратуры.

Вторая концепция: информация существует, но не в нашем физическом мире. Эта доктрина объясняет природу телепатии, вспышек, привидений и т.п. интересных явлений.

Третья точка зрения касается существования чистой информации без какой-либо формы разновидности.

Четвёртым является утверждение, что информация имеет материальную природу, которая сама по себе очень информативна.

Пятая гипотеза базируется на панинформистской теории. Согласно ей, информация является первичной, а материя - вторичной. Информация - основа Мира. Информацион - главный элемент во Вселенной, дающий жизнь субстанции, порождающий вещество, энергию, пространство, время и т.д. Весь мир состоит из информации. Практическое значение этой теории состоит в способности элементов и тканей регенерировать создание продуктов питания, топлива, транспортных средств и т.д. из информации. Усвоение информации обеспечит возможность избежать препятствий на верхних границах величин, таких как скорость света, абсолютный нуль, преодоление временных отрезков за мгновения, сила гравитации и т.д. Станет возможным повернуть информационные машины в будущее или в прошлое из нашего физического мира, преодолевать пространство с любой скоростью.

Шестая теория представляет информацию как субъективную реальность. В объективном мире существуют разнообразные свойства и отношения между субстанцией и энергией. Часть их воспринимается нашими органами чувств, распознается, и субъективно воспринимается как информация. Информация рассматривается как семантическая трансформация изображения модели или объективной реальности. Информация реально существует только в представлении субъекта, потому что это - субъективная реальность. Понятно, почему одно и то же сообщение воспринимается различными субъектами по-разному или не воспринимается ими вовсе.

Как, возможно, Вы уже заметили, философия определения понятия информация отличается чрезвычайной противоречивостью. На одном полюсе - безграничный панинформизм, т.е. утверждение, что весь мир и все его свойства созданы из информации. На другом - отрицание существования информации как действительности, т.е. информация - субъективная реальность. Между ними - признание информации третьим атрибутом материи, равнозначным веществу и энергии; утверждение о независимости информации от какого бы то ни было материального носителя; трактовка её как структуры с необычными для физического мира свойствами; признание в одном случае первичности информации и вторичности материи, а в другом - материальность информации и т.д.

(В целом, всё это свидетельствует о скудоумии и примитивности современных философов, пытающихся словоблудием скрыть своё слабоумие. Будем ждать гения...)

А пока, в данном курсе лекции мы будем рассматривать три информации:

1) **Физическая информация:** третий компонент материального мира (наряду с веществом и энергией), управляющий порядком и хаосом в микромире, в космосе, в термодинамике, статистической физике, биосистемах и т. п. Она не предусматривает участие какого-либо Разума в своём осмыслении, тем более – такого дурного, как человеческий. Не было человека на Земле, информация была, не будет его – информация продолжит своё существование. Физическая информация распадается на два подвида: термодинамическую и статистическую. Именно на примере физической информации мы попытаемся установить связь между информацией и энтропией (информация, как отрицательная энтропия).

2) **Смысловая (семантическая) информация:** информация, которую воспринимает человек (и которая, к примеру, передаётся средствами массовой информации). Здесь уже человеческий разум (совместно с его глупостью) развернётся во всей красе. Это то, что можно осмыслить, оценить, купить-продать-подарить, накапливать, хранить, охранять, терять; она способна исчезать и появляться, может быть полезной и вредной, истинной и ложной, переходя в дезинформацию. Мы рассмотрим методы её поиска в Интернете, способы создания банка данных и банка знаний.

3) **Техническая информация** (она же кибернетическая или компьютерная) – информация, передаваемая азбукой Морзе, по радио- или телеканалу, информация в компьютерах и прочих технических машинах. Мы рассмотрим вопросы передачи информации по линии связи, вопросы кодирования-декодирования информации, и способы переработки информации компьютерами. А истинна эта информация или ложна, ценна или бесполезна, нас ни с какого бока интересоваться не будет. Не интересно нам здесь также материальна она или нет. Важно сколько раз я должен ударить по телеграфному ключу, чтобы передать азбукой Морзе ваше сообщение жене о полярной зимовке, и насколько разнообразен этот текст (можно вспотеть, сутками передавая одну букву, но информации в этом будет немного).

В данном курсе лекций для нас будут существовать три различных сущности, по недоразумению названные одним именем (*Ключ – источник воды, открыватель замка, разводной ключ, телеграфный ключ и т.д. вещи разные, а название одно. Так и слово информация*). Есть ли между разными «информациями» какая-то связь – выяснят наши потомки (*связь между разными «ключами» пока установить не удалось, понятно лишь: жизнь бьёт ключём, и всё по голове...*).

В заключение этой части приведём высказывания некоторых учёных об информации и связанных с ней проблемах.

ШЕННОН К. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.

Значение теории информации было, возможно, преувеличено и раздуто до пределов, превышающих её реальные достижения ... Сейчас теория информации, как модный опьяняющий напиток, кружит голову всем вокруг. Сознывая, что теория информации является сильным средством решения проблем теории связи, нельзя забывать, что она не является панацеей для инженера-связиста и тем более для представителей всех других специальностей. Представителям различных наук следует ясно понимать, что основные положения теории информации касаются очень специфического направления исследования, направления, которое совершенно не обязательно должно оказаться плодотворным в психологии, экономике и в других социальных науках. Здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только в один прекрасный день окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких как *информация, энтропия, избыточность...*, нельзя решить всех нерешенных проблем.

БЕРГ А.И., СПИРКИН А.Г. Кибернетика и диалектико-материалистическая философия // Проблемы философии и методологии современного естествознания. М., 1973

Для характеристики реального мира ныне недостаточны фундаментальные понятия классической физики - материя, вещество, движение, энергия, пространство, время. Для полноты этой характеристики необходимо столь же фундаментальное и столь же всеобщее понятие информации. Нет материи без информации, нет и информации без ее материального носителя - вещества и энергии. Информация представляет собой качественную и количественную характеристику организованности отражения. Вообще информация - это как бы некоторая "сила", направленная против дезорганизации и хаоса; в этом смысле информация неотделима от структурности, организованности материальных систем

БЕРЛЯНТ А. М. Образ пространства: карта и информация. М., 1986.

Вероятностно-статистический подход к картографической информации встретил многочисленные возражения. В ряде критических высказываний подчеркивалось, что шенноновская формула энтропии не содержит самого понятия «информация» и не позволяет определить «количество информации» или «информативность» карты. Карта, где знаки располагаются в пространстве, принципиально отличается от других языковых сообщений, использующих последовательности знаков или сигналов.

БИРЮКОВ Б.В. Кибернетика и методология науки. М., 1974.

Бесспорна возможность теоретико-информационного изложения ряда физических теорий - изложения, исходящего, конечно, из представления о том, что информация и ее меры суть объективные характеристики физических явлений. В самом деле, если понятия термодинамической энтропии и энтропии информационной столь тесно связаны, то почему не попытаться развить на информационной основе самую термодинамику? Если понятие количества информации столь уверенно интерпретируется в вероятностных терминах, то почему бы не попытаться заложить теорию информации в фундамент статистической физики и квантовой механики? Имеется определенное несоответствие между сильно развитым формальным аппаратом оценки количественной формы информации и еще недостаточно осмысленной ее «содержательной» стороной, что сказывается на приложениях теории (в ряде случаев бывало, что представления и методы шенноновской теории пытались «механически» применить в новых областях,

что приводило к дискретизации самих методов). Информация «многолика», включает в себя синтаксический, семантический и прагматический аспекты. Разные стороны понятия информации отображаются в целом спектре теорий. Эти теории, как правило, не противоречат, а дополняют друг друга, развивая разные количественные меры, связанные с той или иной стороной феномена информации. При этом всегда имеется в виду задача - если не полного, то частичного - синтеза этих теорий.

БРИЛЛЮЭН Л. Наука и теория информации. М., 1960.

Новая территория была завоевана для науки с появлением в недавнее время теории информации. Это открытие создало новую область, немедленно привлечшую разведчиков и исследователей. Как это случилось? Как далеко это идёт? И где оно может продолжать распространяться? Означает ли это вторжение науки на территорию, принадлежащую по традиции философии, или это есть открытие новой страны, своего рода «ничейной земли», которая ускользала от прежних исследований?

БАВИЛОВ С. Физика // Под знаменем марксизма, 1935, № 1.

Может случиться так, что будущая физика включит как первичное, простейшее явление «способность сходную с ощущением» и на ее основе будет объяснять многое другое

ВИНЕР Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1958.

Понятие количества информации совершенно естественно связывается с классическим понятием статистической механики - понятием энтропии. Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно также энтропия системы есть мера дезорганизованности системы. Информация есть информация, а не материя и не энергия. Тот материализм, который не признает этого, не может быть жизнеспособным в настоящее время. Мозг не выделяет мысль, как печень выделяет желчь, информация - это обозначение содержания (сигналов), полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств.

ВЯТКИН В.Б.

Информация есть форма отражения материи. Прогресс проистекает из паритета двух начал - хаоса и порядка (энтропии и информации). Складывается ощущение, что энтропия и информация есть различные проявления одной и той же сущности, некоторой ауры, которая является атрибутом любых системных образований.

ДОБРУШИН Р. Л. Теория информации (комментарии). В кн.: Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М., 1987.

Столь общий многообразный объект как информация, не может допускать единого метода численного измерения, а идеи Шеннона обоснованы лишь в применении к той важной, но всё же ограниченной ситуации, когда рассматриваются оптимальные методы кодирования и декодирования информации в целях ее передачи по каналам связи или ее хранения.

КОЛМОГОРОВ А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М., 1987.

Не видно, почему теория информации должна столь существенно основываться на теории вероятностей, как это представляется по большинству руководств. Эта зависимость от заранее созданной теории вероятностей в действительности не является неизбежной. Теория информации должна предшествовать теории вероятностей, а не опираться на нее. Основы теории информации имеют по самому существу этой дисциплины финитный комбинаторный характер.

МАЗУР М. Качественная теория информации. М., 1974.

А как применить понятие «количество информации», например к географической карте? Ведь карта содержит самую различную информацию. О каких вероятностях здесь может идти речь? Ведь каждый элемент карты, как и каждый элемент территории, существует, а не «происходит» с какой-то вероятностью. На заданные вопросы можно ответить, что теория информации создана не для этих потребностей. Однако такой ответ означает признание того факта, что созданная теория до сих пор дает меньше, чем обещает ее название.

НОВИК И. Б. Негэнтропия и количество информации // Вопросы философии, 1962, № 6.

Отсутствие в современной теории информации законов сохранения можно рассматривать как свидетельство незавершенности этой теории. Решение вопроса относительно обобщения законов сохранения на область информации, на наш взгляд, существенно продвинет разработку содержательной теории информации, даст опорный стержень для, так сказать, «физики отражения». Нам представляется, что информацию можно трактовать как форму отражения. По нашему мнению, в информации выражается упорядоченность отражения. Если для материи справедливы законы сохранения, то можно полагать, что некоторые аналоги этих законов применимы и к атрибуту отражения. При рассмотрении только одной формы отражения (информации) без учета её перехода в другую форму закон сохранения в данной области не удаётся установить.

НОВИК И. Б. Кибернетика. Философские и социологические проблемы. М., 1963.

По-видимому, и в области теории информации мы столкнёмся со специфическими статистическими законами, характеризующими «дуализм» отражения (информация и шум), подобно тому, как специфичность статистики в квантовой механике связана с «дуализмом» микрообъектов (обладание свойствами частицы и волны).

СЕДОВ Е. Одна формула и весь мир (книга об энтропии). М., 1982.

Теория информации в том виде, в каком она существует сегодня, - это лишь первый шаг к решению многих научных задач. С её помощью пока не открыты законы такого масштаба, как например, закон всемирного тяготения. Но тут

приходится делать скидку на возраст - нельзя же требовать от ребёнка, пусть даже весьма и одарённого, великих свершений с самых первых шагов. Современная наука изучает различные уровни материального мира. И на всех уровнях она обнаруживает нескончаемую диалектическую борьбу энтропии и информации - двух противоположных начал, отражающих вечное стремление к увеличению хаоса и противодействующую ему тенденцию к образованию упорядоченных структур.

УРСУЛ А. Д. Природа информации. М., 1968.

Доведенная до крайности концепция выбора, неопределенности может привести к тому, что объективный характер самой информации окажется под сомнением, и будет признаваться «творение» информации субъектом или вообще воспринимающей системой. В силу этих соображений наше общее понимание информации должно быть освобождено от ее зависимости от воспринимающей системы (хотя в ряде случаев эта зависимость действительно существует) в такой же степени, как и от трактовки информации в духе чисто вероятностных представлений.

УРСУЛ А. Д. Проблема информации в современной науке. М., 1975.

Понятия информации, которые изолируются от связи с категорией отражения, на наш взгляд, не будут далее развиваться, они образуют тупиковые линии развития. Категория отражения выступает в качестве важнейшего методологического ориентира, помогающего обнаружить верные пути в «хаосе» омонимии понятия информации.

ХАРКЕВИЧ А. А. Очерки общей теории связи. М., 1955.

Несмотря на быстрые темпы развития, общая теория связи не получила еще завершения в своих основных построениях. Обращает на себя внимание, в частности, отсутствие до настоящего времени системы основных законов типа законов сохранения, характерных для многих сложившихся отраслей знания. Наличие подобного рода законов, специфичных для связи интуитивно ощущается. Однако эти законы еще не найдены и не сформулированы.

ШАМБАДАЛЬ П. Развитие и приложения понятия энтропии. М., 1967.

Развитие теории информации, и в частности связь этой теории с термодинамикой, происходило в недавнее время, поэтому в будущем вполне могут появиться новые непредугаданные результаты.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим свойства смысловой информации, в освоении которой предусмотрено участие человека, и которая может казаться ему чем-то полезной или вредной.

Информация и её свойства являются объектом исследования целого ряда научных дисциплин, таких как теория информации (математическая теория систем передачи информационных сообщений), кибернетика (наука о связи и управлении в машинах и животных, а также в обществе и человеке), семиотика (наука о знаках и знаковых системах), теория массовой коммуникации (исследование средств массовой информации и их влияния на общество), информатика (изучение процессов сбора, преобразования, хранения, защиты, поиска и передачи всех видов информации и средств их автоматизированной обработки), соционика (теория информационного метаболизма индивидуальной и социальной психики), информодинамика (наука об открытых информационных системах), информაციология (наука о получении, сохранении и передаче информации для различных множеств объектов) и т. д.

Подобно тому, как введение понятия энергии позволило рассматривать все явления природы с единой точки зрения, так и введение понятия информации, единой меры количества информации позволяет подойти с единой общей точки зрения к изучению самых различных процессов. Количество переданной информации и тем более эффект воздействия информации на получателя не определяются количеством энергии, затраченной на её передачу. Поэтому одной из важнейших особенностей информации является её неэнергетический характер.

Сущность использования информации состоит в том, что приведение в действие больших масс вещества и процессов передачи и преобразования больших количеств энергии могут направляться, контролироваться при помощи небольших масс и количеств энергии, несущих информацию. Так, например, на автоматизированных робототехнических комплексах изготавливаются сложнейшие детали и узлы современных машин под воздействием весьма маломощных в энергетическом смысле управляющих сигналов, подаваемых встроенными в технологическую линию микропроцессорами на исполнительные органы станков и роботов.

Важность (ценность) какой-либо информации зависит от многих обстоятельств и, по существу, не поддаётся формализации. В тоже время, во многих случаях, в которых применим статистический подход к процессам получения и передачи информации, полезным оказывается введённое К.Шенноном представление о количестве информации, содержащемся в том или ином сообщении. Представление о количестве информации тесно примыкает к понятию энтропии. Связь между этими понятиями становится

особенно содержательной, если учесть, что получение любой информации (например, в процессе измерения какой-либо физической величины неизбежно связано с затратами энергии и времени.



2.1 Свойства информации

Характерной отличительной особенностью информации от других объектов природы и общества, является **дуализм**: на свойства информации влияют как свойства исходных данных, составляющих её содержательную часть, так и свойства методов, фиксирующих эту информацию. Фундаментальными свойствами смысловой информации являются: запоминаемость, передаваемость, преобразуемость, воспроизводимость, стираемость, объективность, достоверность, полнота, точность, полезность, ценность, актуальность, понятность, доступность, краткость и т. д.

Выделяют следующие свойства информации:

Объективность информации характеризует её независимость от чьего-либо мнения или сознания, а также от методов получения. Более объективна та информация, в которую методы получения и обработки вносят меньший элемент субъективности. Информация – это отражение внешнего объективного мира. Информация объективна, если она не зависит от методов ее фиксации, чьего-либо мнения, суждения и вообще, если она существует вне и независимо от человеческого сознания. Пример. Сообщение «На улице тепло» несёт субъективную информацию, а сообщение «На улице 22°C» – объективную, но с точностью, зависящей от погрешности средства измерения. Объективную

Три уровня изучения наук, связанных с исследованием свойств знаков и систем:

- **Синтаксический**, рассматриваются внутренние свойства сообщений
- **Семантический**, анализируется смысловое содержание сообщения, его отношение к источнику информации
- **Прагматический**, рассматривается потребительское содержание сообщения, его отношение к получателю.

информацию можно получить с помощью исправных датчиков, измерительных приборов. Отражаясь в сознании конкретного человека, информация перестаёт быть объективной, так как, преобразовывается в зависимости от мнения, суждения, опыта, знаний конкретного субъекта.

Достоверность - свойство информации быть правильно воспринятой. Достоверность отражает истинное положение дел. Объективная информация всегда достоверна, но достоверная информация может быть как объективной, так и субъективной. Достоверная информация помогает принять нам правильное решение. Причинами недостоверности могут быть: преднамеренное искажение (дезинформация); непреднамеренное искажение субъективного свойства; искажение в результате воздействия помех; ошибки фиксации информации. В общем случае достоверность информации достигается: указанием времени свершения событий, сведения о которых передаются; сопоставлением данных, полученных из различных источников; своевременным вскрытием дезинформации; исключением искаженной информации и др.

Полнота. Информацию можно считать полной, когда она содержит минимальный, но достаточный для принятия правильного решения набор показателей. Как неполная, так и избыточная информация снижает эффективность принимаемых на основании информации решений.



Адекватность - степень соответствия реальному объективному состоянию дела. Различают три формы адекватности информации: синтаксическая, семантическая и прагматическая. 1. Синтаксическая адекватность отображает формально-структурные характеристики информации и не затрагивает её смыслового содержания. 2. Семантическая (смысловая)

адекватность определяет степень соответствия информации об объекте самому объекту. 3. Прагматическая (потребительская) адекватность отражает отношение информации и её потребителя. Прагматический аспект связан с ценностью, полезностью использования информации потребителем для достижения поставленной цели.

Доступность - мера возможности получить ту или иную информацию.

Актуальность - это степень соответствия информации текущему моменту времени. Это – важность для настоящего времени, злободневность, насущность. Только вовремя полученная информация может быть полезна.

Синтаксический уровень

Идея: Чисто технические проблемы совершенствования методов передачи сообщений и их сигналов. Проблемы доставки получателю сообщений. Полностью абстрагируются от смыслового содержания сообщений и их целевого предназначения

Учитывают:

- Тип носителя
- Способ представления информации
- Скорость передачи и обработки
- Размеры кодов представления информации и т. д.

Ценность (полезность, значимость) - обеспечивает решение поставленной задачи, нужна для того чтобы принимать правильные решения. Полезность может быть оценена применительно к нуждам конкретных ее потребителей и оценивается по тем задачам, которые можно решить с ее помощью. Самая ценная информация – объективная, достоверная, полная, и актуальная. При этом следует учитывать, что и необъективная, недостоверная информация (например, художественная литература), имеет большую значимость для человека.

Понятность (ясность) – выражена на языке, доступном получателю.

Точность определяется степенью её близости к реальному состоянию объекта, процесса, явления и т. п.

Кроме этого информация обладает еще следующими свойствами:

- 1) Атрибутивные свойства (атрибут – неотъемлемая часть чего-либо). Важнейшими среди них являются дискретность (информация состоит из отдельных частей, знаков) и непрерывность (возможность накапливать информацию)
- 2) Динамические свойства связаны с изменением информации во времени: копирование – размножение информации; передача от источника к потребителю; перевод с одного языка на другой; перенос на другой носитель; старение (физическое – носителя, моральное – ценностное)
- 3) Практические свойства - информационный объем и плотность

2.2 Виды информации

Семантический уровень

Идея: Проблемы связаны с формализацией и учетом смысла передаваемой информации. Проблемы этого уровня чрезвычайно сложны, так как смысловое содержание информации больше зависит от получателя, чем от семантики сообщения, представленного на каком-либо языке.

На данном уровне:

- Анализируется сведения, которые отражает информация
- выявляется смысл информации
- выявляется содержание информации
- осуществляется обобщение

Для человека информация подразделяется на виды в зависимости от типа воспринимающих её рецепторов.

Визуальная - воспринимаемая органами зрения (графическая или изобразительная) - первый вид, для которого был реализован способ хранения информации об окружающем мире в виде наскальных рисунков, а позднее в виде картин, фотографий, схем, чертежей на бумаге, холсте, мраморе и др. материалах, изображающих картины реального мира

Текстовая - передаваемая в виде символов, предназначенных обозначать лексемы языка.

Это - способ кодирования речи человека специальными символами - буквами, причём разные народы имеют разные языки и используют различные наборы букв для отображения речи; особенно большое значение этот способ приобрел после изобретения бумаги и книгопечатания

Числовая - в виде цифр и знаков, обозначающих математические действия. Это - количественная мера объектов и их свойств в окружающем мире; особенно большое значение приобрела с развитием торговли, экономики и денежного обмена; аналогично текстовой информации для ее отображения используется метод кодирования специальными символами - цифрами, причем системы кодирования (счисления) могут быть разными.

Звуковая - устная или в виде записи передача лексем языка аудиальным путем. Мир вокруг нас полон звуков и задача их хранения и тиражирования была решена с изобретением звукозаписывающих устройств в 1877.

Музыкальная – разновидность звуковой. Для этого вида был изобретен способ кодирования с использованием специальных символов, что делает возможным хранение её аналогично графической информации

Видеоинформация - способ сохранения «живых» картин окружающего мира, появившийся с изобретением кино.



Существуют также виды информации, для которых до сих пор не изобретено способов их кодирования и хранения - это **тактильная** информация, передаваемая ощущениями, **органолептическая** (обонятельная и вкусовая), передаваемая запахами и вкусами и др.

По предназначению (общественному значению) информация бывает

Массовая - содержит тривиальные сведения и оперирует набором понятий, понятным большей части социума. Она бывает быденной, общественно-политической, эстетической.

Специальная - содержит специфический набор понятий, при использовании происходит передача сведений, которые могут быть не понятны основной массе социума, но необходимы и понятны в рамках узкой социальной группы, где используется данная информация. Она бывает научной, технической, управленческой, производственной

Прагматический уровень
Идея: Проблемы этого уровня связаны с определением ценности и полезности информации для потребителя интересуют последствия от получения и использования данной информации потребителем.

Заведомо ложных сведений для достижения пропагандистских, военных (введение противника в заблуждение) или других целей.

Особый вид информации - информация, представленная в глобальной сети Интернет. Здесь используются особые приёмы хранения, обработки, поиска и передачи распределенной информации больших объемов и особые способы работы с различными видами информации. Постоянно совершенствуется программное обеспечение, позволяющее проводить коллективную работу с информацией всех видов.

Личная - набор сведений о какой-либо личности, определяющий социальное положение и типы социальных взаимодействий внутри популяции. Сюда относятся наши знания, умения, интуиция.

Дезинформация - распространение искаженных или

Меры информации

- Меры семантического уровня
- Меры синтаксического уровня
- Меры прагматического уровня

биологических признаков, и др.

Объектом приложений информатики являются самые различные науки и области практической деятельности. Многообразные информационные технологии, функционирующие в разных видах человеческой деятельности (управлении производственным процессом, проектировании, финансовых операциях, образовании и т.п.), имея общие черты, в то же время существенно различаются между собой. В конкретных приложениях существуют такие категории информации, как: аэронавигационная, геологическая, инсайдовская, социальная, секретная, генетическая - совокупность хранимых и наследственных

2.3 Качество информации

Возможность и эффективность использования информации определяется её качеством, под которым понимают степень её соответствия потребностям потребителей. Свойства информации являются относительным, так как зависят от потребностей потребителя информации.

Потребительскими показателями качества информации являются:

Содержательность или внутреннее качество (качество, присущее собственно информации и сохраняющееся при её переносе из одной системы в другую) Содержательность информации отражает семантическую ёмкость, равную отношению величины семантической информации в сообщении к объёму обрабатываемых данных.

Репрезентативность информации связана с правильностью её отбора и формирования в целях адекватного отражения свойств объекта.

Значимость (свойство сохранять ценность для потребителя с течением времени)

Идентичность (свойство, заключающееся в соответствии информации состоянию объекта)

Кумулятивность (свойство информации, заключённой в массиве небольшого объёма достаточно полно отражать действительность). С течением времени количество информации растёт, информация накапливается, происходит её систематизация, оценка и обобщение. Это свойство назвали ростом и кумулированием информации.

Защищённость или внешнее качество (качество, присущее информации, находящейся или используемой только в определённой системе), включая сохранность, достоверность и конфиденциальность.

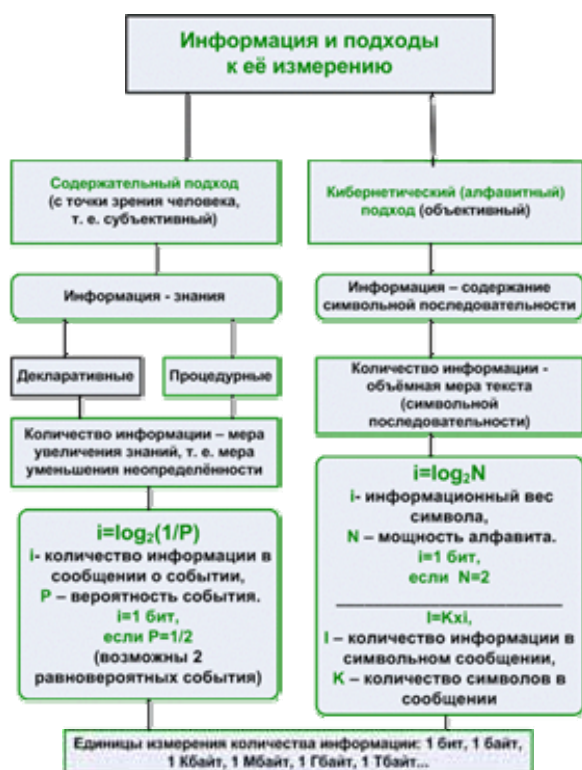
Логичность, компактность, удобная форма представления облегчает понимание и усвоение информации.

Старение информации заключается в уменьшении ее ценности с течением времени. Старит информацию не само время, а появление новой информации, которая уточняет, дополняет или отвергает полностью или частично более раннюю. Научно-техническая информация стареет быстрее, эстетическая (произведения искусства) – медленнее.

Социальная (общественная) информация обладает еще и дополнительными свойствами: имеет семантический (смысловой) характер, т. е. понятийный, так как именно в понятиях обобщаются наиболее существенные признаки предметов, процессов и явлений окружающего мира. Информация имеет языковую природу (кроме некоторых видов эстетической информации, например изобразительного искусства). Одно и то же содержание может быть выражено на разных естественных (разговорных) языках, записано в виде математических формул и т. д.

2.4 Количество информации

Понятно, что измерить количество смысловой информации невозможно. Какое количество информации содержится, к примеру, в тексте романа «Война и мир», во



фресках Рафаэля или в генетическом коде человека? Ответа на эти вопросы наука не даёт и не даст.

Тем не менее, в определенных условиях можно пренебречь качественными особенностями информации, выразить её количество числом, а также сравнить количество информации, содержащееся в различных группах данных. Физическую (термодинамическую, статистическую) и техническую (шенноновскую) информации, уменьшающие энтропию и неопределённость, измерить можно.

Не только измерить, но «взвесить» и купить. Именно так я оплачиваю счёт за Интернет.

И в физическом и в техническом подходах к определению количества информации не обсуждается ценность того или иного информационного сообщения.

Смысловая информация всегда связана с материальным носителем: это может быть сигнал в любой материальной форме, числовой, символьный код на печатной основе и т.д. Поскольку, любой материальный объект можно измерить, то это относится и к информации. Количество информации, затраченное на описание конкретного объекта, можно оценить по количеству букв, затраченных на описание модели объекта. Поскольку, каждый символ естественного языка можно закодировать одним определённым числом информационных единиц (на один символ требуется 1 байт, т.е. 8 бит), то легко вычислить полный объём информации, связанный с описанием любого объекта, процесса, явления. Это так называемый **алфавитный подход** измерения количества информации.

Есть другой количественный подход – **технический** (кибернетический, шенноновский), изложенный в работах К.Шеннона и Н.Винера. Изучая системы передачи информации, К.Шеннон пришёл к выводу, что каждое элементарное сообщение на выходе системы уменьшает неопределённость исходного множества сообщений, при этом смысловой аспект сообщения не имеет никакого значения. За единицу количества информации было предложено принять «количество информации, передаваемое при одном выборе между равновероятными альтернативами». Эта наименьшая единица информации называется бит.

Количество кодированной информации:

- мера информации, сообщаемой появлением события определенной вероятности;
- мера оценки информации, содержащейся в сообщении;
- мера, характеризующая уменьшение неопределенности, содержащейся в одной случайной величине относительно другой.

Единицами кодированной информации являются бит и байт.

Бит - минимальная единица измерения количества передаваемой или хранимой информации, соответствующая одному двоичному разряду, способному принимать значений 0 или 1.

Байт - в запоминающих устройствах - наименьшая адресуемая единица данных в памяти компьютера, обрабатываемая как единое целое. По умолчанию байт считается равным 8 битам. Обычно в системах кодирования данных байт представляет собой код одного печатного или управляющего символа.



Информация в один бит уменьшает неопределённость информационной системы в два раза. Для вычисления средней величины количества информации, связанного с положительным исходом некоторого события x из множества m событий К.Шеннон предложил формулу:

$$H_x = -\sum p_i \log p_i,$$

где p_i - вероятность i -го события.

Эта формула характеризует энтропию (меру неопределённости) системы. Изначально это понятие появилось в физике, и характеризует оно степень неупорядоченности, т.е. неопределённости микросостояния, в котором система (например, термодинамическая) может находиться в данный момент времени. Значение H_x достигает максимума для равновероятных событий, т.е. при $p_i = 1/m$ формула К.Шеннона упрощается:

$H_{max} = -\log p = \log m$ (формула Р.Хартли).

Пример: Рассмотрим систему с 256 возможными состояниями, например, расширенную кодовую таблицу символов, тогда H_{max} будет равно 8 битам ($\log_2 256 = 8$). Другими словами, восемь бит достаточно, чтобы точно описать исход любого события (например, выборку определённого символа из таблицы).

Шеннон подошёл к проблеме как инженер и рассматривает просто количество битов передаваемой в течение некоторого времени информации, то есть её поток. Одной из особенностей такого подхода к определению понятия «информация» является то, что никак не учитываются энергетические или какие-нибудь иные ресурсные затраты, связанные с ее передачей, приемом и обработкой. В частности, процессы передачи и обработки информации и процессы, управляемые этой информацией, могут отличаться по энергетике во много раз. Другой особенностью такого подхода является то, что информация обсуждается как некоторая «надматериальная» субстанция, которая тем не менее упорядочена или, по крайней мере, может быть упорядочена в физическом времени. Это следствие таких неявно подразумеваемых в понятии информации свойств, как возможность её передачи и преобразования посредством материальных носителей, в частности, возможность её запоминания и извлечения из памяти. Следуя этой логике, можно сказать, что для сохранения информации необходимо «свёртывать» упорядоченную во времени последовательность сигналов (или, в физической терминологии - возмущений) в некоторые упорядоченные, структурные изменения в устройстве памяти. Извлечение же информации из памяти - это обратный процесс восстановления упорядоченной во времени последовательности сигналов, с использованием тех структурных изменений в памяти, которые произошли при запоминании.



Передача информации через среду является частным случаем её преобразования: фактически, передача может рассматриваться как последовательное запоминание и восстановление сигналов от точки к точке пространства вдоль пути ее распространения. Самый высокий уровень информационной энтропии имеют случайные последовательности знаков. Поскольку часть данных при преобразованиях информации может теряться, то передаваемая и принимаемая последовательности сигналов, или в

ином, нетехническом контексте, - последовательности знаков, могут отличаться по информационному содержанию. Это отражено в соответствующих соотношениях, где учтено увеличение информационной энтропии в случае искажения части знаков при преобразованиях.

При термодинамическом подходе оценивается термодинамическая вероятность существования системы при каких-либо условиях до и после получения порции информации, а количество информации при этом оценивается через разность энтропий конечного и начального состояний, т. е. характеризует изменение уровня упорядоченности системы. Энтропия каждого состояния оценивается по формуле Больцмана:

$$S = k \ln(N),$$

где k - постоянная Больцмана, N - количество способов, которыми может быть реализовано данное состояние системы, а \ln - натуральный логарифм.

Следует отметить, что однозначная связь между шенноновской и больцмановской формулами энтропии не всегда возможна хотя бы потому, что в одном случае речь идёт о потоке знаков, а другом - об изменениях в некоторой структуре. В качестве примера, когда это все же так, можно привести какое-нибудь устройство памяти, запоминающее короткие информационные сообщения.

Замечание. Существует ещё один способ определения количества информации, основанный на эпсилон-энтропии, предложен А.Н.Колмогоровым. Об алгоритмическом подходе Колмогорова к информации и о его теории сложности мы расскажем в одной из последующих лекций.

Есть так же **содержательный (субъективный) подход** к измерению информации. Содержание информации кроме количественного параметра имеет ещё и смысловую характеристику, которая определяется способностью пользователя понимать поступившее сообщение. Эта способность зависит от тезауруса пользователя, т.е. совокупности сведений и знаний, которыми располагает пользователь. Если тезаурус пользователя близок к нулю, то любая новая информация им не воспринимается (он её не понимает) и в этом случае семантическая компонента информации для него равна нулю *(для меня, например, любой текст, записанный китайскими иероглифами будет давать нулевую информацию, тогда*

как для китайца (если он грамотен, конечно) тот же текст будет крайне информативен). Таким образом, одно и то же сообщение может нести для пользователя разное количество смысловой информации.

Подходы к определению понятия «количество информации», основанные на том, что информацию, содержащуюся в сообщении, можно нестрого трактовать в смысле её новизны или, иначе, уменьшения неопределённости наших знаний об объекте, не привели к особым успехам. Когда говорят о мере смысловой информации обычно подразумевают не количество, а ценность информации.

2.5 Ценность информации

Существует ещё один подход к измерению информации, идущий от «здравого смысла». Он связан с идеей о полезности, или **ценности информации**. Попытки определять ценность смысловой информации предпринимались с биологических и психологических позиций, но общепринятых подходов так пока и не существует.

В биологическом аспекте полезность принимаемой информации связана с увеличением выживаемости организма или повышением успешности существования популяции. Получение организмом полезного информационного сообщения означает совершенствование соответствующих инструкций его взаимодействия с окружающей средой. В психологии поведение обсуждается иначе: не с точки зрения улучшения или ухудшения биовыживательных стратегий, а на языке мотиваций. Понятно, что в контекстах различных мотиваций, одно и то же информационное сообщение может иметь разную ценность. Вряд ли требует особого объяснения то обстоятельство, что далеко не любые мотивации подразумевают действия, объективно полезные с точки зрения выживания организма или эволюционного успеха популяции организмов.

Так или иначе, но и в биологическом и в психологическом аспектах одно и то же информационное сообщение не может быть одинаково ценным для любых реципиентов. Его полезность связана с особенностями воспринимающей стороны, а эти особенности отличаются у разных организмов и могут меняться в течение времени. Поэтому вряд ли возможно предложить способ вычисления ценности того или иного информационного сообщения в общем случае. Однако несложно определить эту величину в биологическом контексте, если отвлечься от отдельных организмов и воспользоваться популяционным подходом.

Под **ценностью** информации обычно понимается её важность, нужность для принятия решений. Определение ценности смысловой информации субъективный процесс и в большинстве случаев нет объективных критериев определения ценности конкретных видов информации при принятии информационных решений. Иногда ценность информации определяется приращением вероятности достижения цели вследствие получения той или иной информации. Но практическое применение этого подхода затруднено тем, что невозможно определить с достаточной точностью вероятности достижения конкретной цели до и после получения информации.

Намерение связать понятие ценности информации с понятием цели представляются плодотворным, но имеющиеся пути к количественной оценке ценности малоэффективны, ибо они основаны на использовании предварительных оценок априорных вероятностей цели, знания и последовательных действий потребителя. Трудно сформулировать в информационных понятиях цель, стоящую перед потребителем информации. Кроме этого, ценность не является чисто природным свойством информации, а образуется в результате предметно-практического взаимодействия объекта и субъекта. Любая ценность обусловлена практикой, выступающей как объективный определитель ценности. Ценность является тем, что требуется человеку для его практически-познавательной деятельности, а практика способствует объективности оценок.

Информация необходима для объектов, потребляющих её - как средство обеспечения их существования, позволяет реагировать на изменения в окружающем мире.

Ценность объективна как порождение практического взаимодействия объекта и субъекта; она объективна, так как образуется в процессе общественно-исторической практики (эта объективность может и не осознаваться субъектом). В тоже время оценка субъективна. Оценка как выражение субъективного отношения к ценности может быть истинной, если она адекватна ценности, или ложной, если она ценности не соответствует.

Таким образом, в настоящее время существуют два различных взгляда на то, что принято называть информацией. Один взгляд сводится к тому, что существует три сорта информации. Первый из них - это физическая информация – предмет интереса термодинамики и статистической физики. Вторая - техническая, та самая, которая передается по телеграфным линиям или отображается на экранах радиолокаторов. Количество такой информации может быть в точности вычислено, и процессы, происходящие с такой информацией, подчиняются физическим законам. Третий сорт информации - информация семантическая, то есть смысловая. Это та самая информация, которая содержится, к примеру, в литературном произведении. Для такой информации тоже предлагаются различные количественные оценки и даже строятся математические теории. Но общее мнение скорее сводится к тому, что оценки здесь весьма условны и приближительны и алгеброй гармонию не проверишь.

Некоторые учёные считают, что информация едина, но вот количественные оценки должны быть разными. Отдельно нужно измерять количество информации, причём количество информации - это строгая оценка, относительно которой можно развивать единую строгую теорию. Кроме количества информации, следует измерять ещё и ценность. А вот с ценностью информации происходит то же самое, что и с понятием семантической информации. С одной стороны, вроде её можно померить или даже вычислить, а с другой стороны, все эти вычисления справедливы лишь в ограниченном числе случаев. И вообще, кто может точно вычислить, скажем, ценность крупного научного открытия или письма любимой?

2.6 Информационные процессы

Информация – категория нематериальная, следовательно, она должна быть связана с какой материальной основой, без этого она просто не сможет существовать (вспомним про изобретение письменности).

Носители информации – среда или физическое тело для передачи, хранения и воспроизведения информации. (Это электрические, световые, тепловые, звуковые, радио сигналы, магнитные и лазерные диски, печатные издания, фотографии и т.д.).

Носитель информации - материальный объект или среда, которые служат для представления или передачи информации (бумага, диск, воздух и т.п.).

При этом хранение информации связана с фиксацией состояния носителя (например уже напечатанный текст на бумаге), а распространение информации – с процессом, который протекает в носителе. Но только с нестационарным процессом, то есть характеристики которого меняются. (Стационарный процесс информацию не переносит – лампа просто горит и всё, а мигает – уже азбука Морзе). И при этом информация связывается не с существованием процесса (просто горит лампа), а именно с изменением какой-либо его характеристики.

Информация хранится, передаётся и обрабатывается в символьной (знаковой) форме. Одна и та же информация может быть представлена в различной форме: 1) Знаковой письменной, состоящей

из различных знаков, среди которых выделяют символьную в виде текста, чисел, спец. символов; графическую; табличную и т.д.; 2) В виде жестов или сигналов; 3) В устной словесной форме (разговор). Представление информации осуществляется с помощью языков, как знаковых систем, которые строятся на основе определенного алфавита и имеют правила для выполнения операций над знаками.

Язык – определенная знаковая система представления информации. Существуют:

Естественные языки – разговорные языки в устной и письменной форме. В некоторых случаях разговорную речь могут заменить язык мимики и жестов, язык специальных знаков (например, дорожных);

Формальные языки – специальные языки для различных областей человеческой деятельности, которые характеризуются жестко зафиксированным алфавитом, более строгими правилами грамматики и синтаксиса. Это язык музыки (ноты), язык математики (цифры, математические знаки), системы счисления, языки программирования и т.д. В основе любого языка лежит алфавит – набор символов/знаков. Полное число символов алфавита принято называть мощностью алфавита.

Информационный процесс

(изменение содержания информации с течением времени)

Виды:

1. Создание новой информации
2. Преобразование информации
3. Удаление информации
4. Передачи информации

Что можно делать с информацией перечислено в **Табл.1**.

Табл. 1. Операции с информацией.

создавать	принимать	комбинировать	хранить
передавать	копировать	обрабатывать	искать
воспринимать	формализовать	делить на части	измерять
использовать	распространять	упрощать	разрушать
запоминать	преобразовывать	собирать	и т. д.

Все эти процессы, связанные с определенными операциями над информацией, называются информационными процессами.

Информационные процессы - это процессы, связанные с получением, хранением, обработкой и передачей информации (т.е. действия, выполняемые с информацией). Т.е. это процессы, в ходе которых изменяется содержание информации или форма её представления.



Информация передаётся в форме сообщений от некоторого источника информации к её приёмнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое сообщение, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приёмнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением. Основная функция приёмника данных - фильтрация, игнорирование шума и выявление нового в бесконечном потоке обычного. Обмен информацией не приводит, как правило, к уничтожению источника, обогащая приёмник дополнительным знанием.

Изменение характеристики носителя, которое используется для представления информации, называется сигналом, а значение этой характеристики, отнесенное к некоторой шкале измерений, называется параметром сигнала.

Примеры:

Способ передачи	Процесс	Параметры сигнала
Звук	Звуковые волны	Высота и громкость звука
Изображение	Световые волны	Частота и амплитуда световых волн

Одиночный сигнал не может содержать много информации. Нужно их много.

Последовательность сигналов называется сообщением.

Сообщение, таким образом, служит переносчиком информации, а информация является содержанием сообщения.

В отличие от материи и энергии информация может создаваться и исчезать.

Информационный процесс - изменение с течением времени содержания информации или представляющего его сообщения.

Основные виды информационных процессов:

1. создание новой информации
2. преобразование информации
3. уничтожение информации
4. передача информации

Понятие «информация» обычно предполагает наличие двух объектов – источника и приемника информации. Информация передается от источника к приемнику в материально-энергетической форме в форме сигналов, распространяющихся в определенной среде.

Источник информации – субъект или объект, порождающий информацию и представляющий ее в виде сообщения.

Получатель информации - субъект или объект, принимающий сообщение и способный правильно его интерпретировать.

Замечание. Получатель информации не равен получателю сообщения (слышу речь на керунди – я получатель сообщения, но не информации).

Итак, информация передается в форме сообщений от некоторого источника информации к получателю посредством системы связи между ними. Совокупность технических средств, используемых для передачи сообщений от источника к получателю, называется системой связи. Канал связи – совокупность технических устройств, обеспечивающих передачу сигнала от передатчика к приемнику. Кодирование

устройство предназначено для кодирования информации (преобразования исходного сообщения от источника к виду, удобному для передачи информации). Декодирующее устройство предназначено для преобразования полученного сообщения в исходное.



Для передачи информации на большие расстояния первоначально использовались кодированные световые сигналы, с изобретением электричества - передача закодированного определенным образом сигнала по проводам, позднее - с использованием радиоволн.

Информационными сообщениями могут обмениваться любые системы, состояние которых может управляться с помощью внешних данных. В качестве таких систем могут выступать не только

живые существа, но и, например, компьютеры, поскольку в общем случае неважно осуществляется ли информационный обмен «по собственной воле», или же он кем-то намерено запрограммирован. Подразумевается, что для приёма управляющих данных имеются специальные рецепторы или датчики, так что те или иные, влияющие на функционирование, но непосредственно не воспринимаемые воздействия (например, сильный радиационный фон или яд, подмешанный злоумышленником в пищу), не рассматриваются в качестве информационных сообщений.

Частным случаем информационных сообщений, которыми обмениваются люди, являются мемы. Под **информационным сообщением** конечной протяженности, имеющим ценность, понимается такое, которое модифицирует некоторые особенности взаимодействия системы со средой. Здесь мы полностью отвлекаемся от физических особенностей среды и типа систем, обменивающихся сообщениями, а также от семиотики кодирования и всей «механики» передачи сообщений и реакций системы. Информационное сообщение может вызывать относительно кратковременные, обратимые изменения поведения системы; это происходит, когда сообщение сигнализирует об известной ситуации и подразумевает стандартную реакцию, запрограммированную устройством системы или имеющимися инструкциями, например, рефлексом или программой поведения. Такие сообщения будем называть оповещающими или - шире - **индуцирующими информационными сообщениями** (имеется в виду индукция той или иной стандартной реакции у системы-реципиента). Однако сообщение может быть и **обучающим информационным сообщением**, и тогда оно вызывает необратимые, или, во всяком случае, весьма длительные модификации свойств системы-реципиента. Такие модификации могут вести в дальнейшем к изменениям эволюционной траектории всей системы. Обучающее сообщение может быть одновременно и индуцирующим, однако обратное утверждение неверно.

В биологическом контексте такой подход подразумевает, что после восприятия биосистемой обучающего информационного сообщения с положительной ценностью её способности к выживанию при некоторых условиях увеличиваются, поскольку эта биосистема приобретает новые возможности в плане использования ресурсов среды, избегания опасностей, а также иногда и в плане дальнейшего развития. Понятно, что это происходит потому, что в результате восприятия обучающего сообщения, биосистема приобретает новые стереотипы поведения, которые обеспечивают адекватность реакций на сходные сообщения из того же. Ценность информационного сообщения может быть и отрицательной - сообщение при этом является вредным, - если оно, например, содержит какие-нибудь ложные сведения об окружающем мире.

Частным случаем информационных сообщений являются такие, которые изменяют специализацию системы-реципиента; вспоминая о технических системах, их можно назвать **переключающими**. Отличительной чертой таких сообщений является то, что они влекут сразу два последствия: появление новых свойств и потерю имевшихся, например, запоминание новых способов поведения и забывание некоторых использовавшихся ранее. Каждое переключающее сообщение рассматривается как два независимых, но приходящих одновременно и вызывающих различные изменения у системы-реципиента. Эти изменения могут иметь неодинаковые по длительности последствия; для того, чтобы переключающее информационное сообщение было обучающим нужно чтобы некоторые из последствий носили долговременный характер.

Информационное сообщение одной и той же ценности может быть передано разными способами и, поэтому, может содержать разное количество шенноновской информации. И наоборот: разные сообщения,

кодируемые и передаваемые одинаковым количеством битов, могут нести как ценные сведения, так и быть совершенно бессодержательными для части или же для всех реципиентов (белый шум). Тем не менее, при работе в сети Internet платят не за ценность полученной информации, а просто за количество переданных бит. Вот в наглядном виде материализованная разница между различными подходами к информации!

Заметим, что этот простой подход к определению информационной ценности, разумеется, не единственный. Часто ценность информации определяют как степень её непредсказуемости, поэтому повторение «одной и той же информации» всегда приводит к снижению её ценности. Нетрудно догадаться, откуда проистекает такой взгляд на вещи - из педагогической практики. Заметим, что повторяющиеся информационные сообщения не обязательно сразу теряют свою ценность, если они используются, например, для выработки рефлекса. Не теряют ценность и повторные сообщения, сигнализирующие о появлении одной и той же опасности.

*__*__*

Подводя итог относительно понятия ИНФОРМАЦИЯ, можно сказать, что информацию нельзя считать лишь техническим термином, это фундаментальная философская категория, которой присущи такие свойства как запоминаемость, передаваемость, преобразуемость, воспроизводимость, стираемость. Можно дать следующее определение:

Информация – специфический атрибут реального мира, представляющий собой его объективное отражение в виде совокупности сигналов и проявляющийся при взаимодействии с «приемником» информации, позволяющим выделять, регистрировать эти сигналы из окружающего мира и по тому или иному критерию их идентифицировать.

Таким образом:

1. информация объективна, так как это свойства материи – отражение
2. информация проявляется в виде сигналов и лишь при взаимодействии объектов.
3. одна и та же информация различными получателями может быть интерпретирована по-разному.

Информация имеет определенные функции и этапы обращения в обществе. Основными из них являются:

1. **Познавательная**, цель которой - получение новой информации. Функция реализуется в основном через такие этапы обращения информации, как:
 - ее синтез (производство),
 - представление,
 - хранение (передача во времени),
 - восприятие (потребление);
2. **Коммуникативная** — функция общения людей, реализуемая через такие этапы обращения информации, как:
 - передача (в пространстве),
 - распределение;
3. **Управленческая**, цель которой - формирование целесообразного поведения управляемой системы, получающей информацию. Эта функция информации неразрывно связана с познавательной и коммуникативной и реализуется через все основные этапы обращения, включая обработку.

Без информации не может существовать жизнь в любой форме и не могут функционировать созданные человеком любые информационные системы. Без неё биологические и технические системы представляют груды химических элементов. Общение, коммуникации, обмен информацией присущи всем живым существам, но в особой степени - человеку. Будучи аккумулированной и обработанной с определенных позиций, информация даёт новые сведения, приводит к новому знанию. Получение информации из окружающего мира, её анализ и генерирование составляют одну из основных функций человека, отличающую его от остального живого мира.

ИНФОРМАТИКА

Курс лекций

Лекция 3. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Информация (по крайней мере, такие её виды, как термодинамическая, статистическая и техническая) в своей основе базируются на идее энтропии, понятиях порядка и хаоса. Для понимания, что такое энтропия, откуда взялся этот термин и для чего применяется, необходимо углубиться в дебри термодинамики, хотя бы – классической, т.е. равновесной.

В этой лекции мы коротко остановимся на некоторых принципах классической термодинамики. Основное внимание уделим пяти принципам (законам) термодинамики и познакомимся с историей введения в науку термина энтропия.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Термодинамика - такая наука, которая устанавливает, какими должны быть законы природы, чтобы вечный двигатель оказался невозможен.
А. Эйнштейн

Термодинамика исторически возникла как эмпирическая наука об основных способах преобразования внутренней энергии тел для совершения механической работы. Однако в процессе своего развития термодинамика проникла во все разделы физики, где возможно ввести понятие «температура» и позволила теоретически предсказать многие явления задолго до появления строгой теории этих явлений.

Термодинамика (от греч. Therme - тепло + Dynamis - сила) – раздел физики, изучающий соотношения и превращения теплоты и других форм энергии. В отдельные дисциплины выделились химическая термодинамика, изучающая физико-химические превращения, связанные с выделением или поглощением тепла, а также теплотехника. В теоретической физике наряду с феноменологической термодинамикой, изучающей феноменологию тепловых процессов, выделяют термодинамику статистическую, которая была создана для механического обоснования термодинамики и была одним из первых разделов статистической физики.

Термодинамика - раздел прикладной физики и физической химии, в котором исследуется превращение движения в теплоту и наоборот. В термодинамике рассматриваются не только вопросы распространения теплоты, но и физические и химические изменения, связанные с поглощением теплоты веществом, а также, наоборот, выделение теплоты в ходе физических и химических превращений.

Термодинамика – наука о тепловых явлениях. В противоположность молекулярно-кинетической теории, которая делает выводы на основе представлений о молекулярном строении вещества, термодинамика исходит из наиболее общих закономерностей тепловых процессов и свойств макроскопических систем. Выводы термодинамики опираются на совокупность опытных фактов и не зависят от наших знаний о внутреннем устройстве вещества, хотя в целом ряде случаев термодинамика использует молекулярно-кинетические модели для иллюстрации своих выводов.

Химическая термодинамика – наука о зависимости направления и пределов превращений веществ от условий, в которых эти вещества находятся. Термин предложил в 1851 У. Томсон (Кельвин), когда сформулировал второе начало. Р. Клаузиус называл новую науку «механической теорией тепла». В отличие от других разделов физической химии (строение вещества и химическая кинетика), химическую термодинамику можно применять, ничего не зная о молекулярном строении вещества. Такое описание требует значительно меньше исходных данных.

Термодинамические системы состоят из огромного числа частиц, например, одна капля воды содержит 10^{23} молекул. Ясно, что полное описание таких систем связано с большими трудностями. Один из способов преодоления подобных трудностей заключается в использовании такого метода описания, который ориентирован не на индивидуальное описание элементов системы, а выявление тех макроскопических свойств и величин, которые отображают поведение системы в целом. Термодинамический подход представляет одну из форм описания тепловых процессов, при котором они характеризуются макроскопическими величинами, регистрируемыми приборами, которые не влияют на поведение микрочастиц системы. Так, например, давление газа определяется манометром, его температура - термометром, влажность - гигрометром и т.д. Любая термодинамическая система описывается с помощью соответствующих параметров. Поэтому изменение любого параметра приводит к изменению поведения самой системы. Термодинамический метод описания применим не только для тепловых, но и для физических, химических, биологических и других процессов, в которых рассматривается превращение различных форм энергии в теплоту. Поскольку, однако, этот метод абстрагируется от исследования внутреннего строения и структуры систем, то его выводы не отличаются той глубиной и точностью, какие характерны для статистического и молекулярно-кинетического методов исследования.

Классическая термодинамика состоит из разделов:

- Главные законы термодинамики (иногда также называемые началами).
- Уравнения состояния и прочие свойства простых термодинамических систем (идеальный газ, реальный газ, диэлектрики и магнетики и т. д.)
- Равновесные процессы с простыми системами, термодинамические циклы.
- Неравновесные процессы и закон необратимости энтропии.
- Термодинамические фазы и фазовые переходы.

Кроме этого, современная термодинамика включает также следующие направления:

- строгая математическая формулировка термодинамики на основе выпуклого анализа;
- неэкстенсивная термодинамика;
- применение термодинамики к нестандартным системам (например, к чёрным дырам).

Для той физической величины, которую мы теперь называем энергией, долгое время употреблялся термин «живая сила», введенный И.Ньютоном (1643-1727). Но поскольку «живую силу» можно было спутать с обычной силой, последнюю приходилось для ясности называть «мёртвой силой», что нельзя признать удачным. Специальный термин «энергия» был введен в 1807 Т.Юнгом (1773-1829).

Сила – векторная физическая величина, являющаяся мерой интенсивности взаимодействия тел. Приложенная к массивному телу сила является причиной изменения его скорости или возникновения в нем деформацией. Сила, как векторная величина, характеризуется модулем и направлением. Второй закон Ньютона гласит, что в инерционных системах отсчёта ускорение движения материальной точки совпадает по направлению с приложенной силой; по модулю прямо пропорционально модулю силы и обратно пропорционально массе материальной точки. Или, что эквивалентно, в инерциальных системах отсчета скорость изменения импульса материальной точки равна приложенной силе. Силы, работа которых не зависит от формы траектории, а определяется начальным и конечным положением тела, называются *потенциальными*. Очевидно, что **работа потенциальных сил на замкнутой траектории равна нулю**. Все силы, работа которых зависит от формы траектории, называются *непотенциальными*. Непотенциальными силами являются силы *трения, сопротивления*. Для системы тел, в которой действуют потенциальные силы взаимодействия, можно ввести понятие потенциальной энергии.

Энергия (*Energeia – действие, деятельность*) – общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она может только переходить из одной формы в другую. Понятие энергия связывает воедино все явления природы.

Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Существует довольно много форм энергии, большинство из которых так или иначе используются в энергетике и различных современных технологиях.

Потенциальная энергия - некоторая функция, описывающая взаимное расположение тел в системе, изменение которой взятое с обратным знаком, равно работе потенциальных сил, действующих между телами системы $-\Delta E_p = A$ или же это энергия взаимного действия, взаимного расположения тел относительно друг друга: $E_p = mgh$. Свойства потенциальной энергии: это энергия системы тел, между которыми действуют потенциальные силы взаимодействия; потенциальная энергия определяется с точностью до постоянного слагаемого. При этом за нулевой уровень потенциальной энергии можно принять любое состояние системы; формула для расчета потенциальной энергии может быть разной и зависит от характера взаимодействия тел; общим для всех видов потенциальной энергии является ее связь с работой потенциальных сил: $A = E_{p_{\text{кон}}} - (E_{p1} - E_{p2})$.

Кинетическая энергия - энергия движения. Работа силы, приложенной к телу при изменении его V , равна *изменению* кинетической энергии: $E_k = mv^2/2$.

Закон сохранения энергии - основной закон природы, заключающийся в том, что энергия изолированной (замкнутой) системы сохраняется во времени. Другими словами, энергия не может возникнуть из ничего и не может в никуда исчезнуть, она может только переходить из одной формы в другую. Поскольку закон сохранения энергии относится не к конкретным величинам и явлениям, а отражает общую, применимую везде и всегда, закономерность, то правильнее называть его не *законом*, а *принципом сохранения энергии*. Частный случай - *Закон сохранения механической энергии* – механическая энергия консервативной механической системы сохраняется во времени. Проще говоря, при отсутствии диссипативных сил (например, сил трения) механическая энергия не возникает из ничего и не может никуда исчезнуть. Закон сохранения энергии - это интегральный закон. Это значит, что он складывается из действия дифференциальных законов и является свойством их совокупного действия. Например, иногда говорят, что невозможность создать вечный двигатель обусловлена законом сохранения энергии. Но это не так. На самом деле, в каждом проекте вечного двигателя срабатывает один из дифференциальных законов и именно он делает двигатель неработоспособным. Закон сохранения энергии просто обобщает этот факт.

Внутренняя энергия тела (обозначается как U) - полная энергия этого тела за вычетом кинетической энергии тела как целого и потенциальной энергии тела во внешнем поле сил. Следовательно, внутренняя энергия складывается из кинетической энергии хаотического движения молекул, потенциальной энергии взаимодействия между ними и внутримолекулярной энергии. Внутренняя энергия является однозначной функцией состояния системы. Это означает, что всякий раз, когда система оказывается в данном состоянии, её внутренняя энергия принимает присущее этому состоянию значение, независимо от предыстории системы. Следовательно, изменение внутренней энергии при переходе из одного состояния в другое будет всегда равно разности между ее значениями в конечном и начальном состояниях, независимо от пути, по которому совершался переход. Внутреннюю энергию тела нельзя измерить

напрямую. Можно определить только изменение внутренней энергии: $\Delta U = Q - A$ где Q - теплота, измеренная в джоулях A - работа, измеренная в джоулях Для квазистатических процессов выполняется следующее соотношение: $dU = TdS - pdV + \mu dN$, где T - температура, измеренная в кельвинах; S - энтропия, измеренная в джоулях/кельвин; p - давление, измеренное в паскалях μ - химический потенциал N - количество частиц в системе.

Самопроизвольный процесс - процесс, происходящий без затраты работы. Наоборот, в его результате работа может быть получена.

Работа - механический полезный эффект силы, выражающийся в преодолении сопротивления; измеряется произведением из величины силы на длину пути, пройденного материальной точкой по направлению этой силы.

Механическая работа - физическая величина, зависящая от векторов силы и перемещения.

Термодинамическая работа - количество энергии, переданной или полученной системой путём изменения её внешних параметров.

Работа - в термодинамике - способ изменения внутренней энергии тела или системы тел, при котором энергия передается в процессе силового взаимодействия макроскопических тел.

Работа - мера упорядоченной передачи энергии от одной системы к другой. (Это может быть работа электрического тока, магнитного поля, электромагнитного (светового и др.) излучения, механического движения и др.) Иная возможность передачи энергии - теплота - мера передачи энергии от одного тела к другому путем неупорядоченных, хаотических столкновений частиц веществ, образующих эти тела, - явление теплопроводности

Теплота - один из двух, известных современному естествознанию, способов передачи энергии - мера передачи неупорядоченного движения. Количество переданной энергии называют количеством теплоты. В узком смысле о теплоте можно говорить как об энергии, передаваемой в процессе теплообмена. Теплоту принципиально отличает от работы (второго способа передачи энергии), по крайней мере, два момента: 1) Теплота непосредственно может пойти только на пополнение внутренней энергии. 2) Для циклического превращения теплоты в работу необходимы три тела! Первоначально на теплоту было высказано две точки зрения: 1) теплота - невесомая жидкость - теплород; 2) молекулярно-кинетическая гипотеза теплоты, т.е. теплота связана с хаотическим движением молекул. Ошибочность этих точек зрения в том, что теплота не содержится в теле, а они спорят лишь о том, что именно содержится: жидкость или движение. Теплота - это способ передачи энергии.

Температура (от лат. *temperatura* - надлежащее смешение, нормальное состояние) – физическая величина, примерно характеризующая приходящуюся на одну степень свободы среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. В системе СИ температура измеряется в кельвинах. Но на практике часто применяют градусы Цельсия из-за привязки к важным характеристикам воды - температуре таяния льда (0°C) и температуре кипения (100° С). Это удобно, так как большинство климатических процессов, процессов в живой природе и т.д. связаны с этим диапазоном. Существуют также шкалы Фаренгейта и некоторые другие.

Температура с молекулярно-кинетической точки зрения — физическая величина, характеризующая интенсивность хаотического, теплового движения всей совокупности частиц системы и пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения одной частицы.

Температура - величина, обратная изменению энтропии (степени беспорядка) системы при добавлении в систему единичного количества теплоты: $1/T = \Delta S / \Delta Q$.

Энтальпия (от греч. *нагреваю*) (теплосодержание, тепловая функция Гиббса) – потенциал термодинамический, характеризующий состояние макроскопических систем в термодинамическом равновесии при выборе в качестве основных независимых переменных энтропии S и давления P . Термин энтальпия ввёл Х.Камерлинг-Оннес. Обозначается $H(S, P, N, x_i)$, где N – число частиц системы; x_i – другие макроскопические параметры системы. Энтальпия – аддитивная функция, т.е. энтальпия всей системы равна сумме энтальпий составляющих её частей. Энтальпия связана с внутренней энергией U системы соотношением $H + U = PV$, где V – объём системы. Полный дифференциал энтальпии (при неизменных N и x_i) имеет вид: $dH = TdS + VdP$. Из этой формулы можно определить температуру T ,

объём V и теплоёмкость C_p системы: $T = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_P$, $V = \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_S$, $C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_P$. Равновесному состоянию системы при

постоянных S и P соответствует минимальное значение энтальпии.

Энтропия (*Поворот внутрь, уход в себя, превращение*) – понятие, введённое в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. В статистической физике энтропия служит мерой вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния, в теории информации – мерой неопределённости какого-либо опыта (испытания), который может иметь различные исходы. Эти трактовки энтропии имеют глубокую внутреннюю связь. Например, на основе представлений об информационной энтропии можно вывести все равновесные статистические распределения (в том числе – распределение Гиббса).

Термодинамическая система - совокупность физических тел, которые могут: энергетически взаимодействовать между собой и с другими телами; а также обмениваться с ними веществом. Термодинамическая система: состоит из большого количества частиц; и подчиняется в своем поведении статистическим закономерностям, проявляющимся на всей совокупности частиц. Для термодинамических систем выполняются законы термодинамики.

Термодинамические параметры (параметры состояния) - температура, плотность, давление, объём, удельное электрическое сопротивление и другие физические величины: однозначно определяющие термодинамическое состояние системы; не учитывающие молекулярное строение тел; и описывающие их макроскопическое строение.

Термодинамический процесс - всякое изменение, происходящее в термодинамической системе и связанное с изменением хотя бы одного её параметра состояния.

Термодинамическое равновесие термодинамической системы - состояние термодинамической системы, в котором: все макроскопические параметры системы с течением времени не меняются; и в системе отсутствуют стационарные потоки теплоты, вещества и др. При этом внутри равновесной системы продолжают микроскопические процессы: изменяются положения молекул и их скорости при столкновениях.

2. ИСТОРИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ

Зарождение термодинамики как науки связано с именем Г.Галилея, который ввёл понятие температуры и сконструировал первый прибор, реагирующий на изменения температуры окружающей среды (1597). К.Ренальдини предложил градуировать термометр по реперным точкам. Г.Д.Фаренгейт, Р.Реомюр (1730) и А.Цельсий (1742) создали температурные шкалы в соответствии с этим принципом. В результате работ Г.В.Рихмана формируется понятие теплоты. Дж. Блэк ввёл понятие скрытой теплоты плавления (1757) и теплоёмкости (1770). И.Вильке (1772) ввёл определение калории как количества тепла, необходимого для нагревания 1 г воды на 1^оС. С.А.Лавуазье и П.Лаплас в 1780 сконструировали калориметр и впервые экспериментально определили удельные теплоёмкости ряда веществ. В 1824 С.Карно опубликовал работу, посвящённую исследованию принципов работы тепловых двигателей. Б.Клайперон ввёл графическое представление термодинамических процессов и развил метод бесконечно малых циклов (1834). Ю.Р.Майер сформулировал принцип взаимопревращаемости теплового и механического движений и теоретически вычислил термомеханический эквивалент (1842), экспериментально его определил Дж. П.Джоуль (1843). Г.Гельмгольц отметил универсальный характер закона сохранения энергии (1847). Р.Клаузиус и У.Томсон (Кельвин) систематически развили теоретический аппарат термодинамики в основу которого положены первое начало термодинамики и второе начало термодинамики. Развитие второго закона привело Клаузиуса к определению энтропии (1854) и формулировке закона возрастания энтропии (1865). Статистическая интерпретация энтропии была дана Л.Больцманом (1872). Начиная с работ Дж. У. Гиббса (1873), предложившего метод термодинамических потенциалов, развивается теория термодинамического равновесия.

Во второй половине 19 в. проводились исследования термодинамики реальных газов. Особую роль сыграли эксперименты Т.Эндрюса, который впервые обнаружил критическую точку системы жидкость-пар (1861), её существование предсказал Д.И.Менделеев (1860). В конце 19 в. были достигнуты большие успехи в получении низких температур в результате чего были ожижены O₂, N₂ и H₂, а затем и He. Экспериментальные исследования в области низких температур позволили В.Нернсту сформулировать третье начало термодинамики (1906). В 1902 Гиббс опубликовал работу, в которой все основные термодинамические соотношения были получены в рамках статистической физики. Связь между кинетическими свойствами тела и его термодинамическими характеристиками установлена Л. Осангером (1931). В 20 в. интенсивно исследовали энтропию твёрдых тел, а также квантовых жидкостей и жидких кристаллов, в которых имеют место многообразные фазовые переходы Л.Д.Ландау (1935-37) развил общую теорию фазовых переходов, основанную на концепции спонтанного нарушения симметрии.

Самые первые представления о теплоте были связаны с огнем, который в античной натурфилософии рассматривался даже как одна из стихий, участвующих вместе с воздухом, водой и землей в образовании всех тел. Научные взгляды о теплоте появились вместе с развитием экспериментального естествознания и изобретением прибора для измерения температуры тел - термометра. По вопросу о природе самой теплоты существовали две противоположные точки зрения. Сторонники одной из них рассматривали теплоту как особую субстанцию, подобную жидкости, которая может передавать тепло от одного тела к другому. Эту субстанцию называли теплородом, поскольку именно он якобы рождает теплоту в телах.

Теплород - по распространённым в XVIII - начале XIX веков воззрениям, невесомая материя, присутствующая в каждом теле и являющаяся причиной тепловых явлений. Теория теплорода была отвергнута в результате данных естествоиспытателей, что послужило опорой для принятия теории молекулярной физики в середине XIX века

В эпоху господства механистического мировоззрения и электричество, и магнетизм тоже рассматривали как особого рода невесомые жидкости, механическими свойствами которых пытались объяснить эти новые явления. Защитники другой точки зрения считали, что теплота является результатом внутреннего движения частиц тела - его корпускул. Однако эта точка зрения не могла объяснить такие очевидные явления, как сохранение тепла при теплообмене, теплоемкость и некоторые другие. Это было связано с тем, что в то время не была ясна внутренняя структура тел, зависимость их температуры от кинетической энергии движущихся корпускул и другие количественные закономерности, не говоря уже о природе и строении самих корпускул. Поэтому в XVIII в. доминирующее положение заняла более простая и наглядная теория теплорода, которая давала видимое объяснение экспериментально установленному факту сохранения тепла при теплообмене ссылкой на неуничтожимость теплорода. С помощью теплорода удалось установить некоторые количественные связи между тепловыми процессами и ввести в научный оборот ряд понятий, которые до сих пор употребляются в физике. Однако к концу XVIII в. все большее количество фактов убеждало ученых, что никакого теплорода не существует и нагревание тел более убедительно

объясняется не увеличением в них теплорода, а увеличением их внутренней энергии. Примечательно, что попытка объяснения тепловых процессов с помощью понятий и принципов механики также потерпела неудачу.

После того как французский ученый Ж.-Б. Фурье сформулировал математический закон теплопроводности, согласно которому поток тепла пропорционален градиенту температуры, стало ясным, что теория теплоты имеет дело с исследованием качественно новых явлений, несводимых к механическим процессам. В результате этого был нанесен сильный удар по концепции механистического мировоззрения, которая стремилась объяснить все явления природы с помощью понятий и принципов механики. Если классическая динамика описывала законы движения тел под воздействием внешних сил, сознательно отвлекаясь от внутренних изменений, происходящих в системах, то термодинамика вынуждена была исследовать физические процессы при различных преобразованиях тепловой энергии. Однако она не анализирует внутреннего строения термодинамических систем, как это делает статистическая физика, рассматривающая теплоту как беспорядочное движение огромного числа молекул.

Классическая термодинамика возникла из обобщения многочисленных фактов, описывающих явления передачи, распространения и превращения тепла. Самым очевидным является тот факт, что распространение тепла представляет собой необратимый процесс. Хорошо известно, например, что тепло передается от горячего тела к холодному, а не наоборот. Вместе с тем путем точных экспериментов было доказано, что тепловая энергия превращается в механическую энергию в строго определенных количествах. Существование такого механического эквивалента теплоты впервые установил английский ученый Дж. П. Джоуль, который высказал предположение, что соответствующие эквивалентные отношения должны существовать при превращении других форм энергии в теплоту. В первой половине XIX в. были открыты явления превращения энергии химических реакций в электричество, а позднее - электромагнитной энергии в теплоту. При этом оказывалось, что во всех этих превращениях одна форма энергии переходила в другую в строго определенных количествах.

Все многочисленные эмпирические факты передачи и превращения тепловой энергии нашли свое обобщение и теоретическое объяснение в законах классической термодинамики. Первый закон термодинамики, который называют также первым ее началом, утверждает, что во всех тепловых превращениях энергия не возникает из ничего и не исчезает никуда, а остается постоянной. Этот закон термодинамики можно сформулировать проще, как впервые это сделал французский ученый Н. Карно (1796 - 1832): невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при постоянной температуре. Иногда этот закон выражают в еще более простой форме: тепло не может самопроизвольно перетечь от холодного тела к горячему. В дальнейшем немецкий физик Р. Клаузиус (1822-1888) использовал для формулировки второго закона термодинамики понятие энтропии как особой функции состояния системы, по изменению которой можно судить о направлении термодинамических процессов. Энтропия замкнутой термодинамической системы, т.е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, возрастает и достигает максимума в точке термодинамического равновесия. Сам Клаузиус ввел понятие энтропии для количественной формулировки второго начала термодинамики, которое определяет направление тепловых процессов. Энтропия характеризует степень вырождения, или обесценения, тепловой энергии или меру необратимости самопроизвольного перехода энергии. Впоследствии австрийский физик Л. Больцман (1844-1906) стал рассматривать тепловые процессы с точки зрения молекулярно-кинетической теории как хаотическое движение огромного числа молекул. Поскольку с увеличением температуры системы эта хаотичность возрастает, то Больцман стал истолковывать энтропию как рост беспорядка и дезорганизации системы. Применив статистический метод описания, он стал интерпретировать энтропию в терминах изменения порядка в системе. Если Клаузиус рассматривал энтропию как меру обесценения энергии, то Больцман стал ее интерпретировать как меру дезорганизации системы.

В 1905 Нернст в работе «О вычислении равновесия по термическим данным» ввел в термодинамику постулат, не вытекающий из первого и второго начал – третий закон термодинамики, который гласит: энтропия всякого тела при абсолютном нуле равна нулю. В 1907 Эйнштейн квантово-статистическим методом показал, что теплоемкости всех веществ при 0 К и в непосредственной близости равны нулю. Планк, объясняя некоторые следствия из постулатов Нернста, высказал предположение, названное постулатом Планка: энтропия чистого кристаллического вещества при температуре абсолютного нуля равна нулю. Основное значение постулатов Нернста и Планка состоит в том, что для одной из функций состояния - энтропии - может быть найдено её абсолютное значение, а не только приращение в каком-либо процессе.

Поскольку и в подходе Клаузиуса и в подходе Больцмана энтропия истолковывается как отрицательная характеристика системы, то французский физик Л. Бриллюэн предложил ввести противоположное энтропии понятие негэнтропии: $N = -S$, характеризующее степень упорядоченности, или организации, системы. Об изменении состояния систем классическая термодинамика может судить, по

увеличению их энтропии. Поэтому она и выступает в качестве своеобразной стрелы времени, которая показывает, в каком направлении совершается процесс. Термин стрела времени ввёл в науку английский астрофизик А. Эддингтон для образного представления течения времени.

Основателем нового направления – термодинамики необратимых процессов является американец норвежского происхождения Л. Онсагер. Свою «квазиротермодинамическую» теорию необратимых процессов он построил на основе выражения для скорости возникновения энтропии. В результате, в уравнения термодинамики было введено время как физический параметр и создан новый макрофизический метод исследования кинетики взаимосвязанных явлений переноса. Соотношения взаимности Онсагера лежат в основе четвёртого закона термодинамики.

Наиболее строгую и полную аксиоматику термодинамики дал Каратеодори в 1909.

Принцип Каратеодори: вблизи каждого равновесного состояния любой термодинамической системы, существуют другие равновесные состояния, недостижимые из первого адиабатическим путем. Пусть у нас есть два близких состояния системы 1 (V_1, p_1, T_1) и 2 (V_2, p_2, T_2). Пусть, при этом, переход из 1 в 2 произошел с получением теплоты $Q > 0$. Тогда $Q = U_2 - U_1 + A'$. Предположим, что мы можем вернуть систему обратно адиабатически: $0 = U_1 - U_2 + A''$. Складывая, получим $Q = A' + A'' > 0$, т.е. всё полученное тепло переведено в работу, что противоречит термодинамике. Из этого принципа следует, что большинство процессов в термодинамике происходит с теплообменом. Изотермические процессы – единственные обратимые процессы, проходящие с теплообменом (в любом другом процессе температура рабочего тела изменяется и, согласно второму началу термодинамики теплообмен с нагревателем или холодильником не может быть обратимым).

Константин Каратеодори (1873-1950) – немецкий математик греческой национальности. В 1909 году предложил аксиоматическое построение основ термодинамики.

Аксиома адиабатической недостижимости (Caratheodory, 1909), лежит в основе математически наиболее строгой и логически последовательной системы построения и обоснования равновесной термодинамики. Суть аксиомы сводится к утверждению того очевидного факта, что обратимый (бесконечно медленный) теплообмен (впрочем, как и другие обратимые процессы) *приводит к таким изменениям состояния, которые не могут быть достигнуты никаким другим также квазистатическим путем*. Это положение можно назвать «аксиомой различимости процессов: существуют независимые процессы, вызывающие особые, феноменологически отличимые и несводимые к другим изменения состояния». Опираясь на него, можно обосновать менее очевидное, но еще более важное положение, согласно которому *число независимых координат, определяющих состояние любой (равновесной или неравновесной) термодинамической системы (т.е. число её степеней свободы), равно числу независимых процессов, протекающих в ней*.

3. НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ

Законы термодинамики, или начала термодинамики – физические законы, описывающие особенности передачи тепла и работы в термодинамических процессах; начиная с концепции стали одними из самых важных во всей физике и других ветвях науки, связанных с термодинамикой; часто связываются с понятиями, далекими от того, что непосредственно заявлено в их формулировке. Первое установленное начало термодинамики, которое в конечном счете стало «Вторым законом», было сформулировано Сади Карно в 1824. К 1860, в результате открытий в работах Рудольфа Клаузиуса и Вильяма Томсона, было уже два установленных «начала» термодинамики, первое начало и второе начало. Спустя годы, эти начала превратились в «законы». В 1873, например, термодинамик Джозаёя Уиллард Гиббс в его «Графических методах в термодинамике жидкостей» ясно заявил о существовании двух абсолютных законов термодинамики: Первого закона и Второго закона. Теперь, открыто в общей сложности пять законов. За последние 80 лет различные авторы иногда предлагали добавить ещё законы, но ни один из них не был широко признан.

Классическая термодинамика базируется на следующих началах (законах):

1. **Нулевой закон:** Если каждая из двух термодинамических систем находится в тепловом равновесии с некоторой третьей, то они находятся в тепловом равновесии друг с другом. $A \approx B \wedge B \approx C \Rightarrow A \approx C$
2. **Первый закон:** Обобщённый закон сохранения энергии. Для любого термодинамического цикла сумма чистого тепла, доставленного в систему, и чистой работы, совершённой системой, равна нулю или в любом процессе полная энергия вселенной остается той же самой $dU = \delta Q - \delta W$.
3. **Второй закон:** Энтропия изолированной системы не в равновесии имеет тенденцию увеличиваться с течением времени, приближаясь к максимальному значению в равновесии. $\oint \frac{\delta Q}{T} \geq 0$
4. **Третий закон:** При стремлении температуры к абсолютному нулю, энтропия системы приближается к постоянному минимуму, т.е. энтропия – «температурный иждивенец» и приводит к формулировке идеи

абсолютного нуля $T \rightarrow 0$, $S \rightarrow C$. Теорема Нернста: Энтропия любой системы при абсолютном нуле температуры всегда может быть принята равной нулю

5. Четвёртый закон (взаимные соотношения Онсагера):

$$J_u = L_{uu} \nabla(1/T) - L_{ur} \nabla(m/T);$$

$$J_r = L_{ru} \nabla(1/T) - L_{rr} \nabla(m/T)$$

связывает между собой кинетические свойства тела и его термодинамические характеристики.

Законы 0-3 относятся к равновесной термодинамике (их можно назвать принципом температуры (нулевой закон), принципом энергии (первый закон), принципом энтропии (второй закон) и принципом Нернста (третий закон), 4-ый – к неравновесной. Три закона классической термодинамики описывают взаимосвязь между свойствами систем в состоянии равновесия. В них ничего не говорится о времени или скоростях реакций. Согласно первому началу термодинамики (закону сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам), энергия одного вида может быть превращена в энергию другого вида, но не может появляться или исчезать. Второе начало термодинамики определяет, может ли та или иная химическая реакция происходить спонтанно, и устанавливает энтропию (меру беспорядка) системы. Третье начало термодинамики описывает расчет констант равновесия. Четвёртое начало вводит в термодинамику время, причём соотношения взаимности представляют собой математический эквивалент более общего принципа наименьшей диссипации, который утверждает, что скорость возрастания энтропии в связанных необратимых процессах минимальна.

Рассмотрим некоторые из них подробнее.

3.1 Нулевой закон термодинамики

Нулевым (или общим) началом термодинамики называют принцип, согласно которому замкнутая система независимо от начального состояния в конце концов приходит к состоянию термодинамического равновесия и самостоятельно выйти из него не может. При этом, если каждая из двух термодинамических систем находится в тепловом равновесии с некоторой третьей, то они находятся в тепловом равновесии друг с другом. Нулевое начало определяет температуру как меру теплового равновесия и начало её исчисления – абсолютный нуль.

Этот закон сформулировал английский учёный Р.Фаулер (1931) для строгого определения термического равновесия.

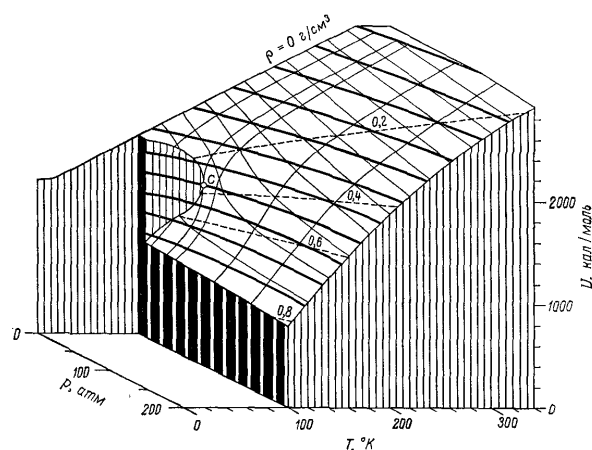
3.2 Первый закон термодинамики

Одним из видов энергии является работа, которая совершается, когда тело движется, преодолевая действие некой силы. В 1620 Ф.Бэкон высказал предположение, что теплота есть просто другая форма движения, но лишь в 1789 это установил Б.Томпсон (Румфорд), наблюдая за выделением теплоты при расщеплении ствола пушки. Опыты показали, что тепловая и механическая энергия - одно и то же и что, вероятно, можно найти экспериментально механический эквивалент теплоты, т.е. количество работы в механических единицах, эквивалентное данному количеству теплоты в тепловых единицах. Заметив, что температура воды в медицинской колбе повышается, если её несколько минут встряхивать, Ю.Майер в 1842 оценил механический эквивалент теплоты по разности удельных теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме. В 1845 Дж.Джоуль точно измерил количество теплоты, получаемое при преобразовании механической работы в тепловую энергию.

Изложение термодинамики обычно начинают с анализа поведения идеального газа при его нагреве.

При этом рассчитывается работа, совершаемая газом при изменении его температуры, T , объема, V , и давления P . Именно в экспериментах с газами были сформулированы три закона (начала) термодинамики.

Рис. 1. Внутренняя энергия воздуха (с учётом формулы Ван-дер-Ваальса для реального газа).



Для В.Лейбница (1646-1716) было уже неоспоримым, что в консервативной системе (подобной гравитационному полю) сумма кинетической и потенциальной энергий остается неизменной, какие бы преобразования одной в другую ни происходили. Пример - маятник, кинетическая энергия которого периодически переходит в потенциальную и обратно, причём это могло бы продолжаться до бесконечности, если бы энергия не рассеивалась из-за трения. Однако имеется трение в подвесе, а также сопротивление воздуха, тоже обусловленное трением. Поэтому маятник в конце концов теряет

кинетическую энергию своего видимого движения, но опыты Румфорда и других ученых свидетельствовали о том, что энергия лишь превращается в теплоту, и в результате этого повышается температура маятника и окружающей среды. Таким образом, строго периодические колебания маятника превращаются в хаотическое движение его молекул и молекул окружающей среды.

Одним из важнейших понятий термодинамики является внутренняя энергия тела. Все макроскопические тела обладают энергией, заключенной внутри самих тел. С точки зрения молекулярно-кинетической теории **внутренняя энергия** вещества складывается из кинетической энергии всех атомов и молекул и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом. В частности, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий всех частиц газа, находящихся в непрерывном и беспорядочном тепловом движении. Внутренняя энергия идеального газа зависит только от его температуры и не зависит от объема (закон Джоуля).

Внутренняя энергия тела может изменяться как в результате совершаемой работы, так и вследствие **теплообмена**. При тепловом контакте тел внутренняя энергия одного из них может увеличиваться, а внутренняя энергия другого – уменьшаться. В этом случае говорят о тепловом потоке от одного тела к другому. **Количество теплоты** Q , полученное телом, – изменение внутренней энергии тела в результате теплообмена. Передача энергии от одного тела другому в форме тепла может происходить только при наличии разности температур между ними. **Тепловой поток всегда направлен от горячего тела к холодному.**

Количество теплоты Q является энергетической величиной. В СИ количество теплоты измеряется в единицах механической работы – **джоулях** (Дж).

Все изложенное находит общее выражение в **первом начале термодинамики — законе сохранения энергии**. Согласно этому закону, во всех преобразованиях энергия не возникает и не исчезает, она остаётся постоянной и лишь меняет форму. На это указал в 1837 К.Мор в статье *О природе теплоты*. Закон сохранения энергии был четко сформулирован в 1847 Г.Гельмгольцем (1821-1894), но и после этого универсальный характер закона не сразу получил признание. В 20 в. его пришлось еще более обобщить, включив в него теоретически установленное А.Эйнштейном соотношение $E = mc^2$ между массой m и энергией E (c – скорость света), из которого следует, что сумма массы и энергии остается неизменной.

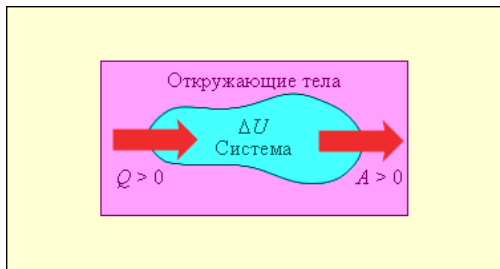


Рис. 2. Обмен энергией между термодинамической системой и окружающими телами в результате теплообмена и совершаемой работы

На **Рис. 2** условно изображены энергетические потоки между выделенной термодинамической системой и окружающими телами.

Величина $Q > 0$, если тепловой поток направлен в сторону термодинамической системы. Величина работы $A > 0$, если система совершает положительную работу над окружающими телами.

Окружающими телами.

Первое начало термодинамики утверждает, что изменение внутренней энергии термодинамической системы (тела) может быть осуществлено двумя путями: путём совершения механической работы и путём теплопередачи.

Если система обменивается теплом с окружающими телами и совершает работу (положительную или отрицательную), то изменяется состояние системы, т. е. изменяются её макроскопические параметры (температура, давление, объем). Так как **внутренняя энергия** U однозначно определяется макроскопическими параметрами, характеризующими состояние системы, то отсюда следует, что процессы теплообмена и совершения работы сопровождаются изменением ΔU внутренней энергии системы.

Энергия, переданная системе путём теплопередачи, называется **количеством теплоты** Q . Количество теплоты определяется как разность изменения внутренней энергии системы и механической работы, совершённой над системой:

$$Q = \Delta U - A' \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, переданной системе, $\Delta U = U_2 - U_1$ – изменение внутренней энергии системы при её переходе из первого состояния во второе, A' – работа, совершённая над системой. Так как работа, совершённая над системой A' , равна тепловой энергии, затраченной на совершение работы, A , взятой с обратным знаком: $A' = -A$, то первое начало термодинамики может быть сформулировано следующим образом:

Теплота Q , подводимая к системе, идет на изменение ее внутренней энергии ΔU и на совершение этой системой работы A над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A \quad (2)$$

Т.е. тепло, полученное системой, не исчезает, а затрачивается на увеличение внутренней энергии и производство работы

$$Q_{12}=U_2-U_1+A_{12} \quad (3)$$

Эта формула представляет собой запись первого начала термодинамики применительно к случаю перехода термодинамической системы из некоторого первого состояния во второе.

Замечание. Поскольку в простой термодинамической системе возможно изменение химической энергии, целесообразно тепло, возникающее в химических реакциях, и химическую работу по переносу вещества выделить из δQ и $\delta A'$, охарактеризовав их особым членом δW . Член имеет положительный знак, поскольку тепло химических реакций и работа, приводящая к притоку вещества, увеличивают внутреннюю энергию системы. Тогда получим

$$\delta U = \delta Q - \delta A + \delta W \quad (4)$$

Это уравнение представляет полное аналитическое выражение первого начала термодинамики для простой термодинамической системы, где каждый член δQ , δA и δW характеризует соответственно тепловые, механические и химические процессы в системе.

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он может быть сформулирован так: *Изменение ΔU внутренней энергии неизолзированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами, т.е. $U=Q-A$.* Соотношение, выражающее первый закон термодинамики, часто записывают в другой форме: $Q=\Delta U+A$.

Внутренняя энергия тела U является функцией его состояния, это аддитивная величина, т.е. для любой макроскопической системы она равна сумме внутренних энергий составляющих её подсистем. Соотношение $dU=dQ+dA$ показывает, что количество теплоты Q измеряется в энергетических единицах.

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение её внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

В полной форме первый закон (первое начало) термодинамики формулируется так:

Изменение полной энергии системы в квазистатическом процессе равно количеству теплоты Q , сообщенного системе, в сумме с изменением энергии, связанной с количеством вещества N при химическом потенциале μ , и работы A' , совершённой над системой внешними силами и полями, за вычетом работы A , совершённой самой системой против внешних сил:

$$\Delta U = Q - A + \mu \Delta N + A'. \quad (5)$$

Для элементарного количества теплоты δQ , элементарной работы δA и малого приращения (полного дифференциала) dU внутренней энергии первый закон термодинамики имеет вид:

$$dU = \delta Q - \delta A + \mu dN + \delta A'. \quad (6)$$

Разделение работы на две части, одна из которых описывает работу, совершённую над системой, а вторая – работу, совершённую самой системой, подчёркивает, что эти работы могут быть совершены силами разной природы вследствие разных источников сил.

Важно заметить, что dU и dN являются полными дифференциалами, а δA и δQ – нет.

Приращение теплоты часто выражают через температуру и приращение энтропии (см. ниже):

$$\delta Q = TdS.$$

Дифференциал – главная линейная часть приращения функции. Понятие, тесно связанное с понятием производной по направлению. Обычно дифференциал f обозначается df , а его значение в точке x обозначается $d_x f$.

Полный дифференциал функции $f(x, y, z, \dots)$ нескольких независимых переменных — выражение

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z + \dots,$$

в случае, когда оно отличается от

$$Df = f(x + Dx, y + Dy, z + Dz, \dots) - f(x, y, z, \dots)$$

на величину, бесконечно малую по сравнению с $\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \dots$

Полным дифференциалом функции многих переменных называется главная линейная относительно приращений аргументов часть малого полного приращения функции. Он равен сумме попарных произведений частных производных на дифференциалы соответствующих переменных.

Рассмотрим несколько случаев:

Если $\delta Q > 0$, то это означает, что тепло к системе *подводится*.

Если $\delta Q < 0$, аналогично - тепло *отводится*.

Если $\delta Q = 0$, то систему называют адиабатически изолированной.

Обобщая: в конечном процессе $1 \rightarrow 2$ элементарные количества теплоты могут быть любого знака. Общее количество теплоты Q – алгебраическая сумма количеств теплоты, сообщаемых на всех участках этого процесса. В ходе процесса теплота может поступать в систему или уходить из неё разными способами. При отсутствии работы над системой и потоков энергии-вещества, когда $\delta A' = 0$, $\delta Q = 0$, $dN = 0$, выполнение системой работы δA приводит к тому, что ΔU , и энергия системы U должна убывать. Из ограниченности

энергии U как раз и следует невозможность двигателя первого рода, выполняющего бесконечную работу за счёт собственной энергии.

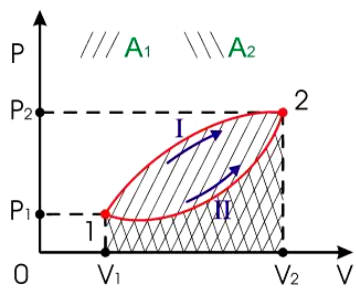


Рис. 3. Работа при переходе из одного состояния термодинамической системы в другое

По своему физическому смыслу первое начало термодинамики представляет собой закон сохранения энергии в термодинамике. Если, согласно закону изменения энергии в механике, работа неконсервативных сил равна приращению механической энергии системы (в частности, имеющая отрицательный знак, работа сил трения равна уменьшению механической энергии системы), то согласно первому началу термодинамики, приращение внутренней энергии термодинамической системы равно сумме работы внешних сил, совершенной над системой, и энергии, переданной системе путём теплопередачи.

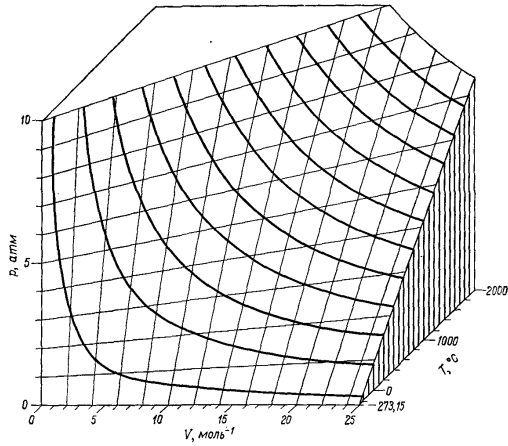


Рис. 4. P - V диаграмма для идеального газа.

Процессы, нарушающие первый закон термодинамики, никогда не наблюдались. Из закона сохранения энергии следует невозможность существования вечного двигателя первого рода, который мог бы совершать работу без внешнего источника энергии. Поскольку часть энергии внешнего источника расходуется на тепловые потери, постольку невозможно полностью затратить его

энергию на получение работы.

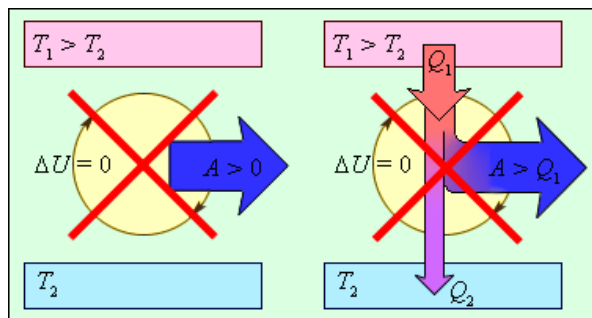


Рис. 5. Циклически работающие тепловые машины, запрещаемые первым законом термодинамики: 1 – вечный двигатель 1 рода, совершающий работу без потребления энергии извне; 2 – тепловая машина с коэффициентом полезного действия $\eta > 1$.

P - V – диаграмма, представленная на **Рис. 4** иллюстрирует первый закон термодинамики на примере идеального газа. Здесь важно, что в зависимости от траектории I или II перехода из первого состояния во второе, площадь под кривой $P(V)$ будет различна, а, следовательно, будет различна механическая работа, совершаемая системой в этих термодинамических процессах. Количество теплоты Q_{12} , необходимое для перехода из первого состояния во второе, также будет зависеть от вида кривой $P(V)$ (формы траектории).

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV \quad (7)$$

Важно, что закон расширения газов указывает на существование абсолютного нуля. Поскольку при охлаждении от 0 до -1°C газы сжимаются на $1/273$, можно представить себе некий идеальный газ, который не конденсируется, как реальные газы, но с понижением температуры продолжает сжиматься, пока его объем не уменьшится до нуля при -273°C . Это было бы абсолютным нулем температуры для тепловой машины, рабочим телом которой является идеальный газ. Проведя гораздо более сложные рассуждения, У.Томсон (Кельвин) (1824—1907) доказал, что это действительно абсолютный нуль температуры, и ввел названную его именем «термодинамическую» шкалу температуры T (шкалу Кельвина), в соответствии с которой $T = 273,16 + t^\circ\text{C}$.

Абсолютный ноль температуры - минимальный предел температуры, которую может иметь физическое тело. Абсолютный ноль служит началом отсчёта абсолютной температурной шкалы, например, шкалы Кельвина. По шкале Цельсия абсолютному нулю соответствует температура $-273,15^\circ\text{C}$. Считается, что абсолютный ноль на практике недостижим. Его существование и положение на температурной шкале следует из экстраполяции наблюдаемых физических явлений, при этом такая экстраполяция показывает, что при абсолютном нуле энергия теплового движения молекул и атомов вещества должна быть равна нулю, то есть хаотическое движение частиц прекращается, и они образуют упорядоченную структуру, занимая чёткое положение в узлах кристаллической решётки. Однако, на самом деле, даже при абсолютном нуле температуры регулярные движения составляющих вещество частиц останутся. Оставшиеся колебания, например нулевые колебания, обусловлены квантовыми свойствами частиц и физического вакуума, их окружающего. В настоящее время в физических лабораториях удалось получить

температуру, превышающую абсолютный ноль всего на несколько миллионных долей градуса; достичь же его самого, согласно законам термодинамики, невозможно.

Рассмотренные здесь процессы являются квазистатическими. Все промежуточные состояния газа в этом процессе близки к состояниям термодинамического равновесия.

Не всякий процесс, проведенный без теплообмена с окружающими телами, удовлетворяет этому условию. Примером неквазистатического процесса, в котором промежуточные состояния неравновесны, может служить расширение **газа в пустоту**. На **Рис. 5** изображена жесткая адиабатическая оболочка, состоящая из двух сообщающихся сосудов, разделенных вентилям К. В первоначальном состоянии газ заполняет один из сосудов, а в другом сосуде – вакуум. После открытия вентиля газ расширяется, заполняет оба сосуда, и устанавливается новое равновесное состояние. В этом процессе $Q=0$, т.к. нет теплообмена с окружающими телами, и $A=0$, т.к. оболочка недеформируема. Из первого закона термодинамики следует: $\Delta U=0$, то есть внутренняя энергия газа осталась неизменной. Так как внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры, температуры газа в начальном и конечном состояниях одинаковы – точки на плоскости (p, V) , изображающие эти состояния, лежат **на одной изотерме**. Все промежуточные состояния газа неравновесны, и их нельзя изобразить на диаграмме. Расширение газа в пустоту – пример **необратимого процесса**. Его нельзя провести в противоположном направлении.

3.3 Газовые законы

Большинство газов при комнатной температуре и давлении порядка одной атмосферы (при нормальных условиях) с достаточно высокой точностью могут быть описаны уравнением состояния, называемым **уравнением Клапейрона-Менделеева**:

$$PV = \nu RT \quad (8)$$

где: P - давление газа, V - занимаемый им объем, ν - количество молей газа, R - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура. В рамках термодинамического подхода газ, уравнение состояния которого, связывающие параметры P , V , и T , является уравнением Клапейрона-Менделеева, называется **идеальным газом**. При нормальных условиях наиболее близкими по своим свойствам к идеальному газу являются водород и гелий.

Соотношение между параметрами P , V , и T для разных газов остается одинаковым, если между их массами поддерживается определенное постоянное соотношение. Количество вещества ν равно отношению массы M газа к некоторой постоянной для данного газа величине μ :

$$\nu = \frac{M}{\mu} \quad (9)$$

где: μ - называется **молярной массой** или массой одного **моля** вещества.

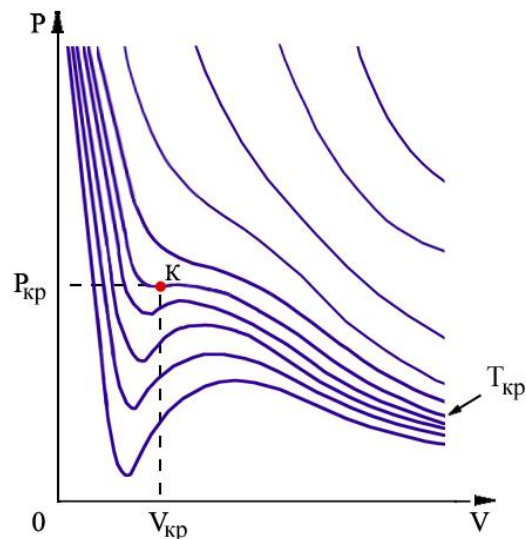


Рис.6. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса

В уравнении Клапейрона-Менделеева в качестве коэффициента пропорциональности между величинами PV и T стоит произведение количества вещества ν на коэффициент R , который называется **универсальной газовой постоянной**. Эта одинаковая для всех газов величина равна:

$$R = 8.31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$$

Уравнение Клапейрона-Менделеева обычно записывают в виде:

$$PV = \frac{M}{\mu} RT \quad (10)$$

Для одного моля газа: $PV_{\text{моля}} = RT$

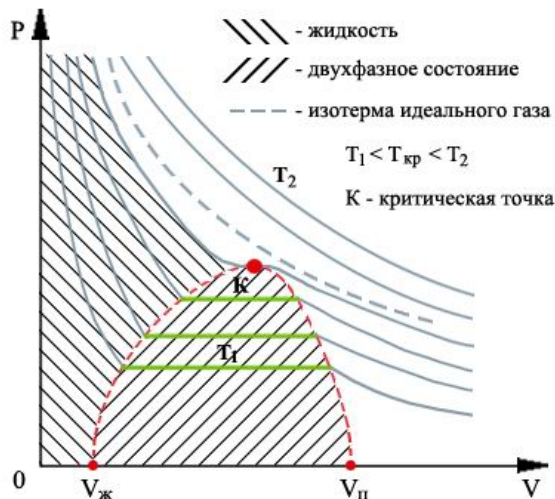
Для нас важно, что

$$\frac{PV}{T} = \text{Const},$$

т. е. зная два параметра, мы всегда найдём третий.

Рис.7. Изотермы реального газа

Замечание. Разделив газовую постоянную на число Авогадро, получим новую постоянную – постоянную Больцмана, k , которая нам понадобится при переходе от энтропии к информации.



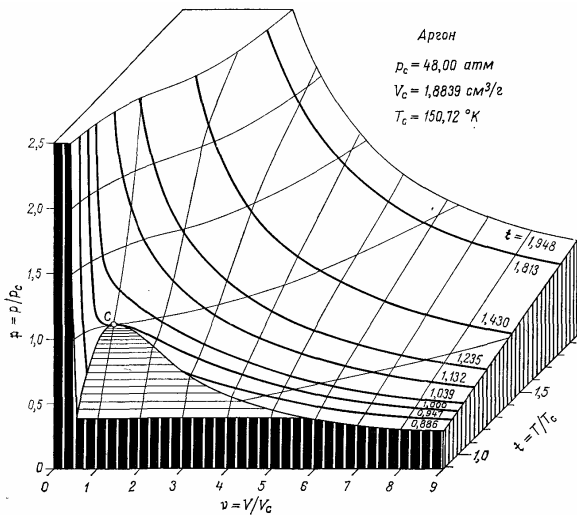
$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Уравнение Клапейрона-Менделеева достаточно хорошо описывает газ при высоких температурах и низких давлениях, когда он находится в условиях достаточно далёких от условий конденсации. Однако для реального газа это не всегда выполняется и тогда приходится учитывать потенциальную энергию взаимодействия молекул газа между собой. Простейшим уравнением состояния, описывающим неидеальный газ, является уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\left(P + \frac{a g^2}{V^2}\right)(V - b g) = gRT \quad (11)$$

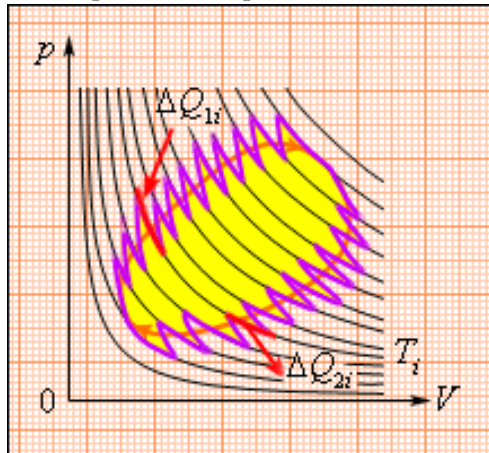
где: P , V и T - давление, объём и температура газа, v - количество молей газа, a и b - постоянные для данного газа. Для различных газов постоянные a и b различны, и их можно определить экспериментально. Значение константы R такое же, как и для идеального газа. Такой вид уравнения состояния реального газа имеет как экспериментальные, так и молекулярно-кинетические обоснования.

Рис. 8. Поверхность, описываемая уравнением состояния для аргона.



3.4 Термодинамические циклы

Термодинамические циклы - круговые процессы в термодинамике, то есть такие процессы, в которых начальные и конечные параметры, определяющие состояние рабочего тела (давление, объём, температура, энтропия) совпадают. Термодинамические циклы используются в тепловых машинах для превращения *тепловой энергии* (то есть, внутренней энергии) в механическую работу, а также для охлаждения (при использовании обратного цикла). Тепловая машина состоит из рабочего тела, которое и проходит цикл, нагревателя и холодильника (с помощью которых меняется состояние рабочего тела). *Обратимым* называют цикл, который можно провести как в прямом, так и в обратном направлении в адиабатически изолированной (без теплообмена с окружающей средой) системе.



Суммарная энтропия системы при прохождении такого цикла не меняется. Единственным обратимым циклом для машины, состоящей только из рабочего тела, нагревателя и холодильника, является Цикл Карно. Существуют также циклы Стирлинга и Эриксона, в которых обратимость достигается путём введения дополнительного прибора - регенератора. Обратимые циклы обладают наибольшей эффективностью.

Рис. 9 Произвольный обратимый цикл как последовательность малых изотермических и адиабатических участков.

Полное преобразование работы в теплоту вполне возможно, но обратный процесс преобразования всей теплоты в эквивалентную ей работу невозможен. К такому выводу в 1824 пришёл путем теоретических рассуждений французский физик Н.Карно (1796-1832). Рассматривая полный цикл обратимых изменений рабочего тела в тепловой машине, в конце которого это тело возвращается в исходное состояние, он показал, что максимальный КПД преобразования теплоты в работу зависит не от природы рабочего тела, а только от максимальной температуры, при которой подводится теплота, и от минимальной температуры, при которой она отводится. Полное преобразование теплоты в работу было бы возможно лишь в том случае, если бы минимальная температура была равна абсолютному нулю, при которой рабочее тело не имело бы никакой тепловой энергии.

К 1824, когда Н.Карно (1796-1832) опубликовал свой трактат *Размышления о движущей силе огня...* было уже известно, что за счёт теплоты можно получать механическую энергию, но ни у кого не было ни малейшего представления о том, каким может быть КПД тепловой машины, и были не совсем ясны термодинамические основы её действия. Прошло десять лет, прежде чем Б.Клапейрон, который первым по достоинству оценил трактат Карно, повторно опубликовал его, снабдив важными дополнениями.

Тепловые машины или тепловые двигатели предназначены для получения полезной работы за счет теплоты, выделяемой вследствие химических реакций (сгорание топлива), ядерных превращений или по другим причинам (например, вследствие нагрева солнечными лучами).

Тепловой двигатель - устройство, способное превращать полученное количество теплоты в механическую работу. Механическая работа в тепловых двигателях производится в процессе расширения некоторого вещества, которое называется **рабочим телом**. В качестве рабочего тела обычно используются газообразные вещества (пары бензина, воздух, водяной пар).

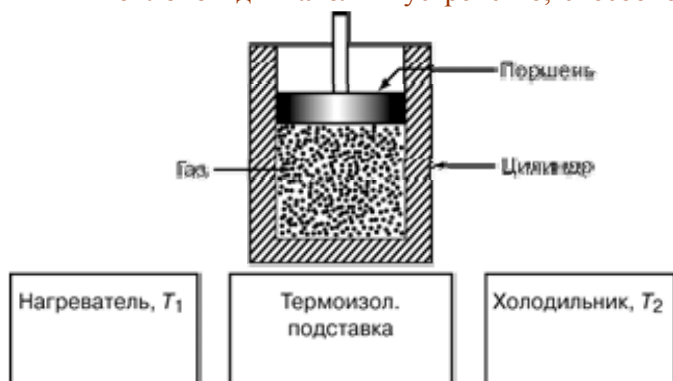


Рис. 10. Воображаемая машина, идеально теплоизолированная, с фиксированным количеством рабочего газа и с поршнем, движущимся в рабочем цилиндре без трения. Цикл состоит в переносе машины с нагревателя на теплоизолированную подставку, затем на холодильник и снова на теплоизолированную подставку. При

расширении и сжатии газа поршень перемещается.

Рабочее тело получает (или отдает) тепловую энергию в процессе теплообмена с телами, имеющими большой запас внутренней энергии. Эти тела называются **тепловыми резервуарами**. Тепловые двигатели (паровые машины, двигатели внутреннего сгорания и т.д.) работают **циклически**. Процесс теплопередачи и преобразования полученного количества теплоты в работу периодически повторяется. Для этого рабочее тело должно совершать **круговой процесс** или термодинамический цикл, при котором периодически восстанавливается исходное состояние.

На **Рис. 13** приведена условная схема тепловой машины, а **Рис. 14** иллюстрирует её термодинамический цикл. Для функционирования тепловой машины обязательно необходимы следующие составляющие: нагреватель, холодильник и рабочее тело. При этом, если необходимость в наличии нагревателя и рабочего тела обычно не вызывает сомнений, то холодильник как составная часть тепловой машины в её конструкции зачастую отсутствует. В качестве холодильника выступает окружающая среда.

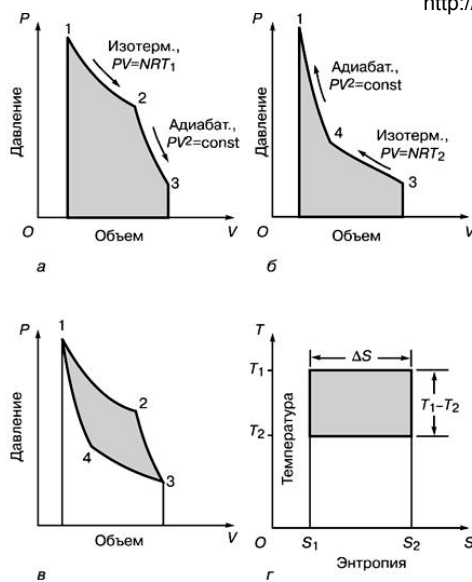


Рис. 11. Цикл Карно на диаграмме объём - давление. Площади, выделенные ретушью: *a* - работа, совершаемая газом; *б* - работа, совершаемая над газом; *в* - разность площадей *a* и *б*, равная полезной работе, совершаемой машиной; *г* - диаграмма Моля, показывающая соотношение между теплотой

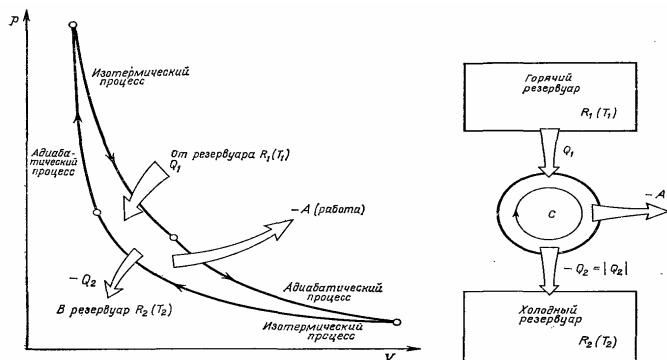


Рис. 12. К выводу 2-го закона термодинамики

Принцип действия тепловых машин заключается в следующем. Нагреватель передает рабочему телу теплоту Q_1 , вызывая повышение его температуры. Рабочее тело совершает работу A над каким-либо механическим устройством, например, приводит во вращение турбину, и далее отдаёт холодильнику теплоту Q_2' , возвращаясь в исходное состояние. Величина $Q_2 = -Q_2'$ представляет собой количество теплоты, передаваемое холодильником рабочему телу, и имеет отрицательное значение.

Отметим, что наличие холодильника и передача ему части полученной от нагревателя теплоты, является обязательным, так как иначе работа тепловой машины невозможна. Действительно, для получения механической работы необходимо наличие потока, в данном случае потока теплоты. Если же холодильник будет отсутствовать, то рабочее тело неизбежно придет в тепловое равновесие с нагревателем, и поток теплоты прекратится.

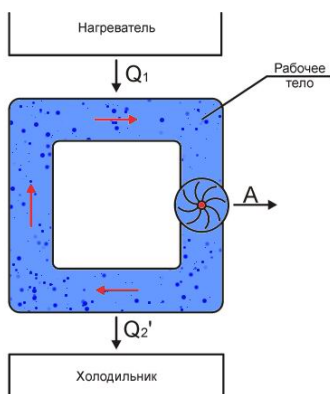


Рис. 13. Схема тепловой машины

В соответствии с первым началом термодинамики, при осуществлении кругового процесса, из-за возвращения рабочего тела в исходное состояние, его внутренняя энергия за цикл не изменяется. Поэтому совершенная рабочим телом механическая работа равна разности подведенной и отведенной теплоты: $A = Q_1 - Q_2'$

Тепловой коэффициент полезного действия (к.п.д.) цикла любой тепловой машины равен отношению полезной работы A к количеству теплоты Q_1 , переданной от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} \quad (12)$$

Очевидно, что *к.п.д. любой тепловой машины всегда меньше единицы*, так как часть полученной от нагревателя теплоты должна передаваться холодильнику.

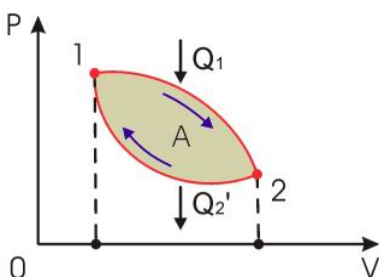
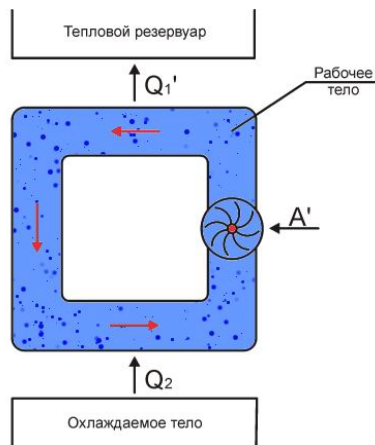


Рис.14. Термодинамический цикл тепловой машины

Термодинамический цикл, осуществляемый в обратном направлении, может быть использован для работы *холодильной машины*, схема и термодинамический цикл которой приведены соответственно на **Рис. 15** и **Рис. 16**. Такие машины, в отличие от тепловых двигателей, предназначены не для получения механической работы из теплоты, а позволяют осуществлять охлаждение различных тел за счет совершения работы.



В холодильной машине за счет совершения внешними телами работы A' над рабочим телом происходит отвод теплоты Q_2 от охлаждаемого тела и передача теплоты Q_1' теплового резервуару, в качестве которого обычно выступает окружающая среда.

Рис. 15. Схема холодильной машины

Коэффициент полезного действия или холодильный коэффициент холодильной машины можно определить как отношение отнятой от охлаждаемого тела теплоты Q_2 к затраченной для этого механической работе A' :

$$\eta_{\text{холод.маш}} = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1' - Q_2} \quad (13)$$

Так как в зависимости от конкретной конструкции холодильной машины количество отводимой от охлаждаемого тела теплоты Q_2 может как превышать затраченную работу A' , так и быть меньше её, то к.п.д. холодильной машины, в отличие от к.п.д. тепловой машины, может быть как больше, так и меньше единицы.

Холодильная машина может быть использована не только для охлаждения различных тел, но и для отопления помещения. Действительно, даже обычный бытовой холодильник, охлаждая помещенные в нем продукты, одновременно нагревает воздух в комнате. Принцип динамического отопления был предложен Томсоном и положен в основу действия современных *тепловых насосов*. Этот принцип заключается в использовании обращенного цикла тепловой машины для перекачки теплоты из окружающей среды в помещение.

Схема теплового насоса совпадает с приведенной на **Рис. 16** схемой холодильной машины. Основное отличие заключается в том, что теплота Q_1' подводится к нагреваемому телу, например к воздуху в обогреваемом помещении, а теплота Q_2 забирается из менее нагретой окружающей среды. Термодинамические циклы холодильной машины и теплового насоса совпадают (**Рис. 17**).

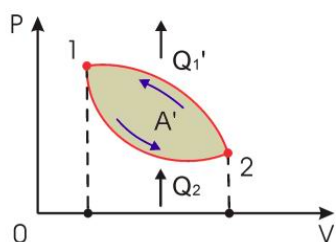


Рис. 16. Термодинамический цикл холодильной машины

К.п.д. теплового насоса определяется как отношение полученной нагреваемым телом теплоты Q_1' к затраченной для этого механической работе A' :

$$\eta_{\text{тепл.насоса}} = \frac{Q_1'}{A'} = \frac{Q_1'}{Q_1' - Q_2} \quad (14)$$

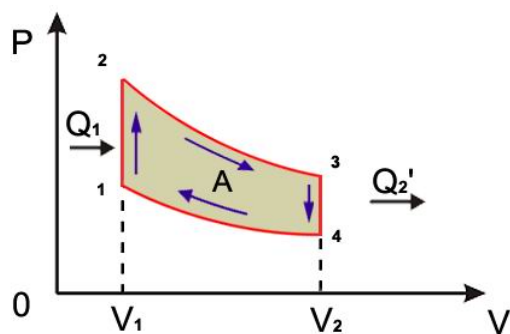


Рис. 17. Термодинамический цикл двигателя внутреннего сгорания

Учитывая то, что отводимая от окружающей среды теплота Q_2 всегда отлична от нуля, к.п.д. теплового насоса, в соответствии с его определением, обязательно должен быть больше единицы. К.п.д. теплового насоса является величиной, обратной к.п.д. тепловой машины:

$$\eta_{\text{тепл.насоса}} = \frac{Q_1'}{A'} = \frac{-Q_1}{-A} = \frac{1}{\eta} \quad (15)$$

К.п.д. теплового насоса тем выше, чем больше теплоты Q_2 отводится от окружающей среды. Указанный результат не противоречит законам термодинамики, так как в данном случае для перекачки теплоты от менее нагретой окружающей среды к более нагретому воздуху в помещении используется работа внешних сил. При этом на каких-то участках цикла рабочее тело может совершать положительную работу, так как при тепловом контакте с окружающей средой его температура должна быть ниже температуры среды. Преимущество теплового насоса по сравнению с электронагревателем заключается в том, что на нагрев помещений используется не только преобразованная в теплоту электроэнергия, но и теплота, отобранная от окружающей среды. По этой причине эффективность тепловых насосов может быть гораздо выше обычных электронагревателей, что определяет их потенциальные возможности для широкого использования.

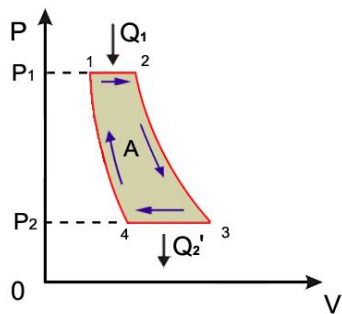


Рис.18. Термодинамический цикл проточного воздушно-реактивного двигателя

Обратимый цикл Карно состоит из двух изотерм, описывающих процесс теплопередачи от нагревателя к рабочему телу и от рабочего тела к холодильнику, и двух адиабат, описывающих расширение и сжатие рабочего тела в тепловой машине (**Рис. 18**). Температура нагревателя считается равной T_1 , а температура холодильника – соответственно T_2 . При этом температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 постоянны, что должно обеспечиваться бесконечно большой теплоемкостью используемых тепловых резервуаров.

При первом изотермическом процессе 1-2 происходит передача рабочему телу теплоты Q_1 , причем эта теплота передается бесконечно медленно, при практически нулевой разнице температур между нагревателем и рабочим телом. Далее рабочее тело подвергается адиабатическому расширению без теплообмена с окружающей средой (процесс 2-3). При последующем изотермическом процессе 3-4 холодильник забирает у рабочего тела теплоту Q_2' . Процесс 4-1 представляет собой адиабатическое сжатие, переводящее рабочее тело в первоначальное состояние. К.п.д. цикла Карно в случае, если в качестве рабочего тела используется идеальный газ, масса которого равна M .

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (16)$$

Полученное выражение позволяет определить *коэффициент полезного действия цикла Карно* обратной тепловой машины, если в ней в качестве рабочего тела используется идеальный газ. Из приведенных формул следует, что к.п.д. такой тепловой машины всегда меньше единицы и полностью определяется температурами нагревателя и холодильника. КПД тепловой машины Карно максимален в том смысле, что никакая тепловая машина с теми же температурами нагревателя и холодильника не может обладать большим КПД. Заметим, что мощность тепловой машины Карно равна нулю, так как передача тепла в отсутствие разности температур идет бесконечно медленно.

3.5 Второй закон термодинамики

Первый закон термодинамики не может отличить обратимые процессы от необратимых. Он просто требует от термодинамического процесса определенного энергетического баланса и ничего не говорит о том, возможен такой процесс или нет. Направление самопроизвольно протекающих процессов устанавливает второй закон термодинамики. Он может быть сформулирован в виде запрета на определенные виды термодинамических процессов.

Второе начало термодинамики утверждает, что невозможно получить работу за счет энергии тел, находящихся в термодинамическом равновесии. Одновременно оно даёт ограничение на направление протекания термодинамических процессов.

Формулировка Карно: *«Невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при постоянной температуре»*. Например, нельзя произвести работу за счет охлаждения озера, моря или иного резервуара при установившейся постоянной температуре.

Формулировка Клаузиуса: *"Теплота сама по себе не может перейти от более холодного тела к более тепловому"*.

Формулировка Томсонова (лорда Кельвина): *"В природе не возможен круговой процесс, единственным результатом которого была бы механическая работа, совершаемая за счет отвода теплоты от теплового резервуара"*.

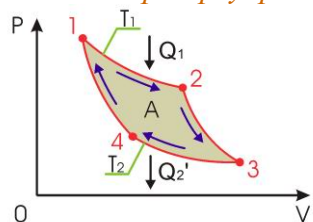


Рис.18. Термодинамический цикл Карно

Обе формулировки второго начала термодинамики эквивалентны между собой.

Как в постулате Клаузиуса, так и в постулате Томсона при ограничении возможности протекания процессов отмечается, что запрет распространяется только на процессы, *единственным конечным результатом* которых являлся бы или переход теплоты *"от более холодного тела к более тепловому"*, или *"механическая работа, совершаемая за счет отвод теплоты от теплового резервуара"*. Таким образом, указанные процессы не запрещены в принципе, а только ограничены невозможностью их протекания без каких-либо изменений в окружающей среде и в самой термодинамической системе.

Гипотетическую тепловую машину, в которой мог бы происходить процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара, называют «вечным двигателем второго рода». В земных условиях такая машина могла бы отбирать тепловую энергию, например, у Мирового океана и полностью превращать ее в работу. Масса воды в Мировом океане составляет примерно 10^{21} кг, и при ее охлаждении на один градус выделилось бы огромное количество энергии ($\approx 10^{24}$ Дж), эквивалентное полному сжиганию 10^{17} кг угля. Ежегодно вырабатываемая на Земле энергия приблизительно в 10^4 раз меньше. Поэтому «вечный двигатель второго рода» был бы для человечества не менее привлекателен, чем «вечный двигатель первого рода», запрещенный первым законом термодинамики.

На **Рис. 19** изображены процессы, запрещаемые вторым законом, но не запрещаемые первым законом термодинамики. Эти процессы соответствуют двум формулировкам второго закона термодинамики.

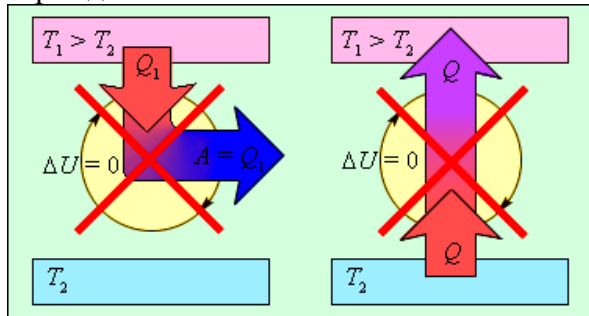


Рис. 19. Процессы, не противоречащие первому закону термодинамики, но запрещаемые вторым законом: 1 – «вечный двигатель второго рода»; 2 – самопроизвольный переход тепла от холодного тела к более тепловому («идеальная холодильная машина»).

Если допустить, что тепло может самопроизвольно (то есть без затраты внешней работы) переходить при теплообмене от холодного тела к горячему, то можно прийти к выводу о возможности создания «вечного двигателя второго рода». Действительно, пусть реальная тепловая машина получает от нагревателя количество теплоты Q_1 и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 . При этом совершается работа $A = Q_1 - |Q_2|$. Если бы количество теплоты $|Q_2|$ самопроизвольно переходило от холодильника к нагревателю, то конечным результатом работы реальной тепловой машины и «идеальной холодильной машины» было бы превращение в работу количества теплоты $Q_1 - |Q_2|$, полученного от нагревателя без какого-либо изменения в холодильнике. Таким образом, комбинация реальной тепловой машины и «идеальной холодильной машины» равноценна «вечному двигателю второго рода». Точно также можно показать, что комбинация «реальной холодильной машины» и «вечного двигателя второго рода» равноценна «идеальной холодильной машине».

Приведенные выше рассуждения позволяют перейти к формулировке *первой* и *второй теорем Карно*. Их можно сформулировать в виде двух следующих утверждений:

Коэффициент полезного действия любой обратимой тепловой машины, работающей по циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и устройства машины, а является функцией только температур нагревателя T_1 и холодильника T_2 :

$$\eta_{\text{обр}} = 1 - \Phi(T_1 - T_2) \quad (17)$$

4. *Коэффициент полезного действия любой тепловой машины, работающей по необратимому циклу, меньше коэффициента полезного действия машины с обратимым циклом Карно, при условии равенства температур их нагревателей и холодильников:*

$$\eta_{\text{необр}} < \eta_{\text{обр}} \quad (18)$$

К.п.д. цикла Карно тепловой машины, работающей на идеальном газе:

$$\eta_{\text{обр}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (19)$$

Возможность применения этой для расчета к.п.д. любой обратимой тепловой машины связана с тем, что вид функции $\Phi(T_1 - T_2)$ для всех рабочих тел, в том числе и для идеального газа одинаков. Совместное применение первой и второй теорем Карно позволяет получить следующее неравенство:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (20)$$

Знак равенства в этой формуле соответствует случаю описания обратимой тепловой машины, а знак меньше - описанию необратимой тепловой машины. Эту формулу можно преобразовать в виду:

$$\frac{T_2}{T_1} \leq \frac{Q_2}{Q_1} \quad (21)$$

что в свою очередь дает $\frac{Q_1}{T_1} \leq \frac{Q_2}{T_2}$ или $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$

Если полученное выражение записать через количество теплоты, подводимой к рабочему телу от нагревателя Q_1 и холодильника $Q_2 = -Q_2'$, то оно примет окончательную форму

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad (22)$$

Эта формула – частный случай неравенства Клаузиуса.

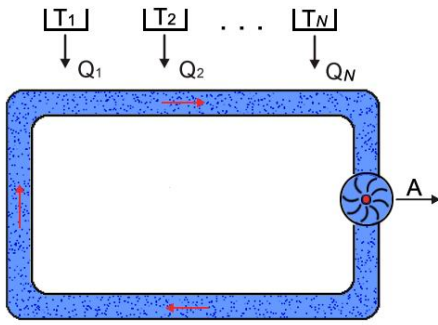


Рис. 19. Схема тепловой машины с большим числом нагревателей и холодильников

Для получения неравенства Клаузиуса в общем случае рассмотрим тепловую машину, рабочее тело которой при совершении кругового термодинамического процесса обменивается теплотой с достаточно большим числом тепловых резервуаров (нагревателей и холодильников), имеющих температуры T_1, T_2, \dots, T_N (**Рис. 19**). При этих теплообменах рабочее тело получает от тепловых резервуаров теплоты Q_1, Q_2, \dots, Q_N . Работа такой тепловой машины будет равна:

$$A = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N. \quad (23)$$

При использовании этого выражения необходимо учитывать, что теплоты Q_i могут иметь отрицательный знак в случае, если в при теплообмене с i -тым резервуаром теплота отбирается от рабочего тела. Применительно к рассматриваемой тепловой машине неравенство (22) может быть записано в виде

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_N}{T_N} \leq 0 \quad (24)$$

$$\text{или } \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad (25)$$

Величина Q/T называется *приведенным количеством теплоты*, которое численно равно количеству теплоты, полученной системой, при абсолютной температуре T , деленной на эту температуру.

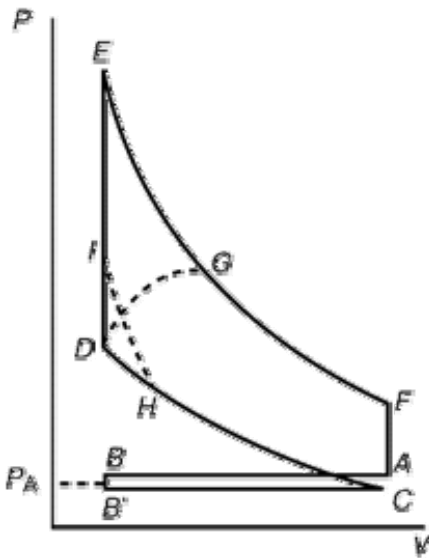


Рис. 20. Диаграмма объем-давление четырехтактного бензинового двигателя

При переходе к бесконечному числу тепловых резервуаров, с которыми рабочее тело тепловой машины обменивается теплотой, суммирование в формуле (25) может быть заменено интегрированием по замкнутому термодинамическому циклу:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (26)$$

Из этой формулы следует, что *сумма приведенных количеств теплоты на замкнутом цикле для любой термодинамической системы не может быть больше нуля.*

Неравенство (26) получено в 1862 году Р. Клаузиусом (1822-1888) и носит его имя.

Неравенство Клаузиуса (26) позволяет отличать обратимые и необратимые круговые термодинамические процессы. В случае, если термодинамический цикл состоит только из обратимых процессов, неравенство (26) переходит в *равенство Клаузиуса*

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad (27)$$

имеющее принципиальное значение для построения равновесной термодинамики.

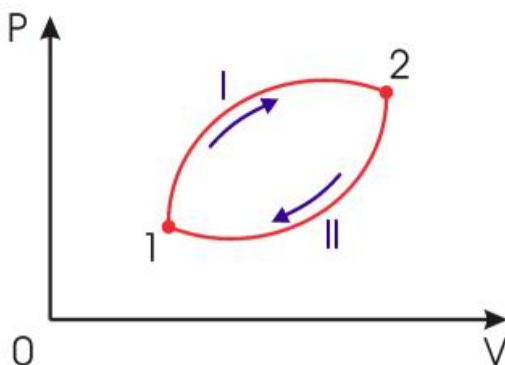
Случай строгого неравенства в формуле соответствует описанию необратимых круговых термодинамических процессов, и это выражение применяется в *неравновесной термодинамике*.

Перейдем теперь к понятию термодинамической энтропии.

Понятие термодинамической энтропии, впервые введенное в 1865 году Клаузиусом, имеет ключевое значение для понимания основных положений термодинамики.

Рис. 21. Обратимый круговой термодинамический процесс

Рассмотрим обратимый круговой термодинамический процесс, представленный на **Рис. 21**. Для этого процесса может быть



записано равенство Клаузиуса в виде
$$\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2 \rightarrow 1} \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad (28)$$

где первый интеграл берется по траектории I, а второй - соответственно по траектории II.

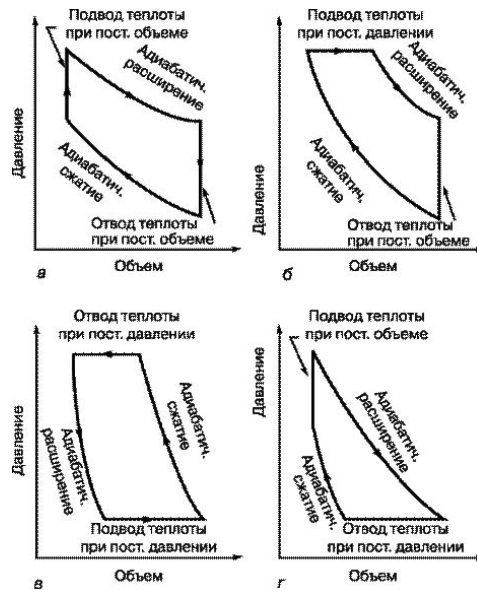


Рис. 22. Теоретические циклы четырёх тепловых машин. а - цикл Отто; б - цикл Дизеля; в - цикл Джоуля; г - цикл Аткинсона

Изменение направления протекания процесса $\frac{2 \rightarrow 1}{II}$ на противоположное $\frac{1 \rightarrow 2}{II}$, что можно выполнить вследствие обратимости процесса II, приводит к замене знака перед вторым интегралом формулы (28). Выполнение этой замены и перенос второго интеграла в выражении (28) в правую часть дают

$$\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} \quad (29)$$

Из полученного выражения следует, что для обратимых процессов интеграл $\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$ не зависит от $обр$

конкретного вида траектории, по которой происходит процесс, а определяется только начальным и конечным равновесными состояниями термодинамической системы. Аналогичная ситуация имеет место в механике при расчёте консервативной силы. Независимость работы консервативной силы от формы траектории движения тела позволила ввести функцию, названную потенциальной энергией, которая зависит только от состояния механической системы и не зависит от того, как в это состояние система была переведена. Из этой аналогии следует, что элементарное приведенное количество теплоты $\frac{\delta Q}{T}$ должно представлять собой **полный дифференциал** некоторой функции S , зависящей только от состояния термодинамической системы, то есть:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (30)$$

Тогда интеграл $\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$ $обр$ будет равен разности значений функции S в равновесных состояниях 1 и 2: S_1 -

$$S_2 = \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} \quad (31)$$

Итак, величина S является функцией, зависящей только от равновесного состояния термодинамической системы. Она не зависит от конкретного вида термодинамического процесса, приведшего систему в указанное состояние.

Эта функция была названа Клаузиусом термодинамической энтропией.

Теперь второй закон термодинамики можно сформулировать так: **Существует функция состояния - энтропия S , которая обладает следующим свойством: $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$, где знак равенства относится к обратимым процессам, а знак больше - к необратимым.**

Для изолированных систем второй закон утверждает: $dS > 0$, т.е. энтропия изолированных систем в необратимых процессах может только возрастать, а в состоянии термодинамического равновесия она достигает максимума ($dS = 0$, $d^2S < 0$).

Термодинамическая энтропия, так же как и потенциальная энергия, определяется с точностью до произвольной постоянной. Это связано с тем, что формула (31) не позволяет определить абсолютное значение термодинамической энтропии, а даёт только разность энтропий для двух равновесных состояний, как суммарную приведенную теплоту в обратимом термодинамическом процессе, переводящим систему из одного состояния в другое.

Таким образом, хотя полная энергия изолированной системы остается постоянной, теплота передается от нагретой части системы к более холодной, и, если эти части не изолированы друг от друга, их температура в конце концов становится одинаковой. Данное положение, известное нам из опыта повседневной жизни, иногда называют «нулевым» началом термодинамики. В результате такого выравнивания внутренних температур изолированная система переходит в свое наиболее вероятное состояние, в котором движение предельно хаотично. Такое самопроизвольное стремление к состоянию с наивысшей степенью хаотичности есть, иначе говоря, стремление к максимальной энтропии, которую можно рассматривать как меру «бесполезности» энергии в термодинамической системе. Суть второго начала термодинамики, сформулированного в 1850 Р.Клаузиусом (1822-1888), и состоит в том, что в изолированной системе внутреннее распределение энергии самопроизвольно всегда изменяется так, что энтропия достигает максимального значения ценой уменьшения полезной части энергии. В силу этого невозможен вечный двигатель второго рода (перпетуум-мобиле II).

Клаузиус ввёл понятие энтропии как особой функции состояния системы, по изменению которой можно судить о направлении термодинамических процессов. Энтропия характеризует степень вырождения, или обесценения, тепловой энергии или меру необратимости самопроизвольного перехода энергии. Энтропия замкнутой термодинамической системы, т.е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, возрастает и достигает максимума в точке термодинамического равновесия. В обратимых процессах, какими являются механические явления, энтропия считается неизменной, потому что механика отвлекается от реальных изменений, происходящих в движущейся системе. Например, планеты, вращаясь по своим орбитам, с такой точки зрения остаются совершенно неизменными. Во всех необратимых процессах она возрастает или, по крайней мере, не убывает.

Термодинамическая энтропия, введенная выше, применима для описания равновесного состояния термодинамической системы. Для нахождения энтропии S термодинамической системы, находящейся в квазиравновесном состоянии, при котором можно считать, что её отдельные части (подсистемы) находятся в состоянии равновесия, можно воспользоваться свойством аддитивности энтропии:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i \quad (32)$$

где: S_i - энтропии подсистем, N - число подсистем.

Следовательно, термодинамическая энтропия макроскопической системы, состоящей из находящихся в равновесии подсистем, равна сумме энтропий этих подсистем.

Таким образом, помимо внутренней энергии U любая термодинамическая система характеризуется ещё одной аддитивной функцией состояния – энтропией. Свойство аддитивности энтропии позволяет описывать состояния макроскопической системы, не находящейся в равновесии, путем её разбиения на достаточно большое число подсистем, которые можно считать находящимися в состоянии локального равновесия. Такой подход дает возможность распространить результаты равновесной термодинамики на системы, находящиеся в неравновесном состоянии, но которые можно представить как состоящие из некоторого числа равновесных подсистем.

Перейдём теперь к закону возрастания энтропии.

Применим неравенство Клаузиуса для описания необратимого кругового термодинамического процесса, изображенного на **Рис. 23**.

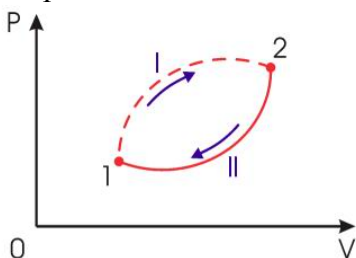


Рис.23. Необратимый круговой термодинамический процесс

Пусть процесс $1 \rightarrow 2$ будет необратимым, а процесс $2 \rightarrow 1$ - обратимым. Тогда неравенство Клаузиуса для этого случая примет вид

$$\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2 \rightarrow 1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad (33)$$

Так как процесс $2 \rightarrow 1$ является обратимым, то $\int_{2 \rightarrow 1} \frac{\delta Q}{T} < 0 = S_1 - S_2$

Тогда $S_2 - S_1 > \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$. Отсюда возникает неравенство $S_2 - S_1 \geq \int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T}$, в котором знак равенства имеет место

в случае, если процесс $1 \rightarrow 2$ является обратимым, а знак больше, если процесс $1 \rightarrow 2$ - необратимый.

Это неравенство можно записать в дифференциальной форме

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (34)$$

Если рассмотреть адиабатически изолированную термодинамическую систему, для которой $\delta Q=0$, то $dS \geq 0$ или в интегральной форме $S_2 \geq S_1$.

Полученные неравенства выражают собой закон возрастания энтропии, который можно сформулировать следующим образом:

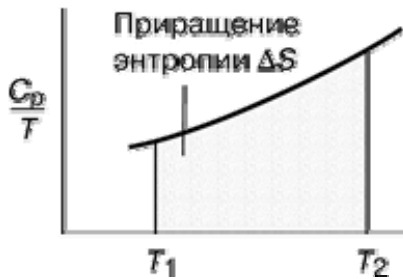


Рис. 24. Приращение энтропии как рост неупорядоченности системы

В адиабатически изолированной термодинамической системе энтропия не может убывать: она или сохраняется, если в системе происходят только обратимые процессы, или возрастает, если в системе протекает хотя бы один необратимый процесс.

Это утверждение является ещё одной формулировкой второго начала термодинамики.

Таким образом, изолированная термодинамическая система стремится к максимальному значению энтропии, при котором наступает состояние термодинамического равновесия. Отметим, что если система не является изолированной, то в ней возможно уменьшение энтропии. Примером такой системы может служить, например, обычный холодильник, внутри которого возможно уменьшение энтропии. Но для таких открытых систем это локальное понижение энтропии всегда компенсируется возрастанием энтропии в окружающей среде, которое превосходит локальное её уменьшение.

3.6 Термодинамическая температура

В термодинамике даётся определение температуры, не зависящее от каких-либо частных свойств вещества. Введем функцию $f(T)$, которая не зависит от свойств вещества. Из термодинамики следует, что если какая-то тепловая машина, поглощая количество теплоты Q_1 при T_1 выделяет тепло Q_s при температуре в один градус, а другая машина, поглотив тепло Q_2 при T_2 , выделяет то же самое тепло Q_s при температуре в один градус, то машина, поглощающая Q_1 при T_1 должна при температуре T_2 выделять тепло Q_2 . Конечно, между теплом Q и температурой T существует зависимость и тепло Q_1 должно быть пропорционально Q_s . Таким образом, каждому количеству тепла Q_s , выделенного при температуре в один градус, соответствует количество тепла, поглощённого машиной при температуре T , равное Q_s , умноженному на некоторую возрастающую функцию f температуры: $Q = Q_s f(T)$

Поскольку найденная функция возрастает с температурой, то можно считать, что она сама по себе измеряет температуру, начиная со стандартной температуры в один градус. Это означает, что можно найти температуру тела, определив количество тепла, которое поглощается тепловой машиной, работающей в интервале между температурой тела и температурой в один градус. Полученная таким образом температура называется абсолютной термодинамической температурой и не зависит от свойств вещества. Таким образом, для обратимой тепловой машины выполняется равенство:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = S \quad (35)$$

где S - энтропия: $dS = \frac{Q}{T}$

Для системы, в которой энтропия S может быть функцией $S(E)$ её энергии E , термодинамическая температура определяется как:

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dE} \quad (36)$$

3.7 Третий закон термодинамики

Чтобы найти абсолютное значение энтропии, необходимо знать теплоемкость при абсолютном нуле температуры. Измерив теплоемкость многих веществ при температурах, очень близких к абсолютному нулю, В.Нернст (1864-1941) пришёл к выводу, что теплоёмкость всех кристаллических веществ при абсолютном нуле температуры равна нулю. Эта «тепловая теорема Нернста» (1906) теперь называется третьим началом термодинамики. Её значение в том, что она позволяет сравнивать между собой энтропии разных веществ, так как все они равны нулю при абсолютном нуле температуры.

Третий закон термодинамики: *При стремлении температуры любой равновесной термодинамической системы к абсолютному нулю её энтропия стремится к некоторой универсальной постоянной величине, значение которой не зависит от каких-либо термодинамических параметров системы и может быть принято равной нулю: $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$*

Этот закон опирается на теорему Нерста - физический принцип, определяющий поведение энтропии при абсолютном нуле температуры. Является одним из постулатов термодинамики.

Третье начало термодинамики может быть сформулировано так: *Приращение энтропии при абсолютном нуле температуры стремится к конечному пределу, не зависящему от того, в каком равновесном состоянии находится система.*

$$\lim_{T \rightarrow 0} [S(T, x_2) - S(T, x_1)] = 0 \quad (37)$$

или

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_T = 0 \quad (38)$$

где x - любой термодинамический параметр.

Заметим, что третье начало термодинамики относится только к равновесным состояниям.

Поскольку на основе второго начала термодинамики энтропию можно определить только с точностью до произвольной аддитивной постоянной (то есть, определяется не сама энтропия, а только её изменение):

$$dS = \frac{\partial Q}{T}, \quad (39)$$

третье начало термодинамики может быть использовано для точного определения энтропии. При этом энтропию равновесной системы при абсолютном нуле температуры считают равной нулю.

Из утверждения теоремы Нернста о независимости значения энтропии равновесной системы при абсолютном нуле температуры от её термодинамических параметров следует также выражение:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial S}{\partial z} \right)_T = 0, \quad (40)$$

где Z - любой термодинамический параметр системы, например, объем, давление и т.д. Здесь нижний индекс T за скобками обозначает дифференцирование при постоянном значении величины T .

Третье начало термодинамики позволяет находить абсолютное значение энтропии, что нельзя сделать в рамках классической термодинамики (на основе первого и второго начал термодинамики). В классической термодинамике энтропия может быть определена лишь с точностью до произвольной аддитивной постоянной S_0 , что практически не мешает большинству термодинамических исследований, так как реально измеряется разность энтропий (S_0) в различных состояниях. Согласно третьему началу термодинамики, при $T \rightarrow 0$ значение $\Delta S \rightarrow 0$.

В 1911 Макс Планк сформулировал третье начало термодинамики, как условие обращения в нуль энтропии всех тел при стремлении температуры к абсолютному нулю: $S \rightarrow 0$. Отсюда $S_0 = 0$, что даёт возможность определять абсолютные значения энтропии и других термодинамических потенциалов. Формулировка Планка соответствует определению энтропии в статистической физике через термодинамическую вероятность (W) состояния системы $S = k \ln(W)$. При абсолютном нуле температуры система находится в основном квантово-механическом состоянии, если оно невырождено, для которого $W=1$ (состояние реализуется единственным микрораспределением). Следовательно, энтропия S при $T \rightarrow 0$ равна нулю. В действительности при всех измерениях стремление энтропии к нулю начинает проявляться значительно раньше, чем может стать существенной при $T=0$ дискретность квантовых уровней макроскопической системы, приводящая к явлениям квантового вырождения.

Теорема Нернста применима только для систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия и не справедлива для неравновесных систем. В частности, при стремлении температуры аморфного тела, например, стекла, к абсолютному нулю, его энтропия не стремится к некоторому определенному постоянному значению. В зависимости от того, как осуществляется процесс охлаждения, энтропия аморфного тела при стремлении к абсолютному нулю будет различной. Это связано с тем, что для аморфных тел, которые находятся в неравновесном (метастабильном) состоянии, процесс охлаждения может происходить быстрее, чем переход их в равновесное (кристаллическое) состояние.

Из третьего начала термодинамики непосредственно следует недостижимость температуры равной абсолютному нулю, т.е. абсолютного нуля температуры нельзя достигнуть ни в каком конечном процессе, связанном с изменением энтропии, к нему можно лишь асимптотически приближаться. Действительно, для того, чтобы практически осуществить охлаждение термодинамической системы до абсолютного нуля температуры, необходимо чередовать изотермическое сжатие и адиабатическое расширение. При первом процессе происходит отвод теплоты, а при втором - уменьшение температуры системы. Но, если изотермический процесс при $T \rightarrow 0$ приведёт к отводу некоторого конечного количества теплоты Q , это вызовет достаточно большое, в пределе бесконечное изменение энтропии. Это противоречит теореме Нернста, так как изменение энтропии в изотермическом процессе при $T \rightarrow 0$ тоже стремится к нулю. Следовательно, охлаждение термодинамической системы до абсолютного нуля температуры невозможно.

Из третьего начала термодинамики вытекает ряд термодинамических следствий: при $T \rightarrow 0$ должны стремиться к нулю теплоёмкости при постоянном давлении и при постоянном объёме, коэффициенты теплового расширения и некоторые аналогичные величины. Справедливость третьего начала термодинамики одно время подвергалась сомнению, но позже было выяснено, что все кажущиеся противоречия (ненулевое значение энтропии у ряда веществ при $T=0$) связаны с метастабильными состояниями вещества, которые нельзя считать термодинамически равновесными.

Другим следствием третьего начала термодинамики является невозможность использования уравнения Клапейрона-Менделеева для описания идеального газа при температурах, близких к абсолютному нулю (при $T \rightarrow 0$ энтропия классического идеального газа стремится к минус бесконечности). Таким образом, третье начало термодинамики указывает на недостаточность классической механики и статистики и является макроскопическим проявлением квантовых свойств реальных систем.

3.8 Четвёртый закон термодинамики

Растущее понимание основополагающей роли производительности и скорости реальных процессов как одного из основных показателей их эффективности привело к возникновению в термодинамике XX столетия нового направления, получившего название термодинамики необратимых процессов (ТНП). Оно связано с введением в уравнения термодинамики времени как физического параметра и с созданием на этой основе нового макрофизического метода исследования кинетики взаимосвязанных явлений переноса.

Норвежско-американский химик Ларс Онсагер предложил теорию для описания необратимых реакций, происходящих при неравновесных процессах. Например, когда холодный кусок сахара растворяется в горячем чае, тепло переходит от горячего тела к холодному и в то же время молекулы сахара растворяются в жидкости. С помощью статистической механики, основанной на законах движения, Онсагер показал, что одновременно протекающие реакции влияют друг на друга в соотношениях, известных в настоящее время как соотношения взаимности Онсагера. Он также доказал, что соотношения взаимности представляют собой математический эквивалент более общего принципа наименьшей диссипации, который утверждает, что скорость возрастания энтропии в связанных необратимых процессах минимальна. Его теоретическое описание необратимых процессов, опубликованное в 1931, не было в то время воспринято всерьёз, а его докторская диссертация была признана неприемлемой.

В 1968 Онсагеру за это исследование присуждена Нобелевская премия по химии.

Гипотеза Онсагера гласит: временная эволюция данной физической величины в равновесной термодинамической системе происходит в среднем по тому же закону, что и макроскопическое изменение соответствующей переменной. Эта гипотеза и послужила основой для разработки термодинамики неравновесных процессов. Вывод теоремы Онсагера о симметрии кинетических коэффициентов опирается на эту гипотезу и симметрию уравнений движения частиц относительно обращения времени.

Например, если в системе, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, произошла локализованная в пространстве флуктуация температуры, то в среднем она будет затухать со временем, следуя уравнению теплопроводности. Аналогично флуктуация гидродинамической скорости будет затухать по уравнению Навье-Стокса.

Теорема Онсагера (принцип Онсагера) – одна из основных теорем термодинамики неравновесных процессов – устанавливает свойства симметрии кинетических коэффициентов. Кинетические

коэффициенты L_{ik} определяют как коэффициенты в линейных соотношениях между термодинамическими силами X_k и потоками J_i :

$$J_i = \sum_k L_{ik} X_k \quad (41)$$

причём скорость изменения энтропии (производство энтропии) равна

$$\sigma = \frac{dS}{dt} = \sum_i J_i X_i \quad (42)$$

Л. Онсагер свою «квазитермодинамическую» теорию необратимых процессов он построил на основе выражения для скорости возникновения энтропии. Известно, что в состоянии равновесия энтропия S адиабатически изолированной системы максимальна. Если при этом параметры неравновесного состояния x_i (температура T , давление P , концентрации различных веществ c_k и т.д.) отличаются от своих равновесных значений x_{io} , естественно предположить, что разность энтропий текущего S и равновесного S_o состояний является некоторой функцией этих отклонений ($x_i - x_{io}$). В таком случае причину возникновения какого-либо i -го процесса релаксации (так называемую *термодинамическую силу* X_i) и обобщенную скорость этого процесса (названную Л. Онсагером потоком J_i) можно было найти из выражения для скорости возникновения энтропии:

$$dS/dt = \sum_i (\partial S / \partial x_i) dx_i/dt = \sum_i X_i J_i, \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (43)$$

где $X_i \equiv (\partial S / \partial x_i)$; $J_i \equiv dx_i/dt$.

Следующим шагом Л.Онсагер постулировал, что при небольших отклонениях от термодинамического равновесия любой из таких потоков J_i линейно зависит от всех действующих в системе термодинамических сил X_j ($j=1, 2, \dots, n$):

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j, \quad (44)$$

где L_{ij} - коэффициенты пропорциональности, названные Онсагером (как и сами уравнения (44)) феноменологическими. Недиagonalные ($i \neq j$) слагаемые в этом выражении были введены Онсагером для учета разнообразных эффектов, возникающих вследствие «наложения» (взаимодействия) нескольких одновременно протекающих необратимых процессов.

В истории неравновесной термодинамики труды Л.Онсагера сыграли ту же роль, что и работы Р.Клаузиуса - в области термодинамики классической: они соединили воедино разрозненные идеи и факты, изложив их в доступной и понятной математической форме. Это послужило стимулом бурного развития теории необратимых процессов и её приложений к разнообразным процессам: механическим; металлургическим; химическим; биологическим энергетическим и т.д.

Наиболее важным в теории Л.Онсагера явилось установление соотношений взаимности между «недиagonalными» феноменологическими коэффициентами L_{ij} и L_{ji} . Используя ряд принципов молекулярной динамики, Л. Онсагер показал, что при надлежащем выборе потоков и сил (когда потоки J_i линейно независимы, удовлетворяют соотношению (44) и обращаются в нуль с исчезновением сил X_j) матрица феноменологических коэффициентов L_{ij} симметрична:

$$L_{ij} = L_{ji}. \quad (45)$$

Эти условия симметрии были названы *соотношениями взаимности*. Они уменьшают число подлежащих экспериментальному определению феноменологических коэффициентов L_{ij} от n (при чисто эмпирическом описании) до $n(n+1)/2$ и приводят к установлению неизвестной ранее взаимосвязи между скоростями разнородных необратимых процессов. Для обоснования этих соотношений Л.Онсагеру пришлось привлечь теорию флуктуаций, принцип микроскопической обратимости и дополнительный постулат о линейном характере законов затухания флуктуаций. Все три названных положения выходят за рамки термодинамики, так что Л. Онсагер не случайно назвал свою теорию «квазитермодинамической». Поэтому в феноменологической теории необратимых процессов соотношения взаимности (45) принимают за дополнительный исходный постулат, называя его иногда (по предложению Д. Миллера) «четвертым началом термодинамики».

Теорема Онсагера устанавливает связь между кинетическими коэффициентами при перекрёстных эффектах, описывающих влияние термодинамической силы X_k на поток J_i и термодинамической силы X_i на поток J_k при $i \neq k$, например, связь между коэффициентом термодиффузии и коэффициентом эффекта Дюфура – явления, обратного трмодиффузии.

Теорема Онсагера является следствием микроскопической обратимости уравнений механики, т.е. инвариантности уравнений движения относительно обращения времени (замены $t \rightarrow -t$). Инвариантность относительно обращения времени означает, что при изменении скоростей всех частиц на обратные (и одновременном изменении внешнего магнитного поля и угловой скорости вращения) частицы будут двигаться в обратном направлении по своим прежним траекториям.

Из четвёртого закона следует **закон минимума диссипации энергии** Л.Онсагера или принцип экономии энергии: при вероятности развития процесса в некотором множестве направлений реализуется то,

что обеспечивает минимум диссипации энергии. В качестве примеров минимальной траты энергии природных процессов можно привести такие далекие друг от друга естественные образования, как пчелиные соты и полигональные формы рельефа, представляющие собой те же шестигранники, но образующиеся в результате процессов промерзания-протаивания мерзлотных грунтов в тундре.

Закон минимума диссипации энергии является логическим развитием закона максимизации энергии и информации: система всегда стремится к максимальному освоению поступающей к ней энергии и информации, что определяет её устойчивость и конкурентоспособность. Возможно, что принцип минимума диссипации энергии (если допустимо не единственное состояние системы (процесса), а целая совокупность состояний, согласных с законами сохранения и связями, наложенными на систему (процесс), то реализуется то ее состояние, которому отвечает минимальное рассеяние энергии, или, что то же самое, минимальный рост энтропии) играет особую роль в мировом эволюционном процессе.

Профессор
Игорь Н. Бекман

ИНФОРМАТИКА

Курс лекций

Лекция 4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭНТРОПИЯ

В предыдущей лекции мы бегло рассмотрели законы термодинамики и возникновение в них понятия энтропии. Здесь мы продолжим разговор о термодинамике, перейдя к её основным уравнениям и термодинамическим потенциалам. Затем более подробно проанализируем свойства физической (термодинамической и статистической) энтропии, методы её экспериментального определения и характер её изменения при фазовых переходах.

Ещё раз напомним, что энтропия – понятие, впервые введённое в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. В статистической физике энтропия служит мерой вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния, в теории информации – мерой неопределённости какого-либо опыта (испытания), который может иметь различные исходы. Эти трактовки энтропии имеют глубокую внутреннюю связь, вместе образуя понятие физической энтропии. Важность такой трактовки состоит в том, что на основе представлений об информационной энтропии можно вывести все равновесные статистические распределения (в том числе – распределение Гиббса). Сейчас мы и проиллюстрируем эти положения.

1. ЭНТРОПИЯ В РАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

*Понятие энтропии чудовищно абстрактно.
А. Пуанкаре*

Ещё раз напомним, что в термодинамике энтропия – одна из величин, характеризующих тепловое состояние тела или системы тел; мера внутренней неупорядоченности системы; при всех процессах, происходящих в замкнутой системе, энтропия или возрастает (необратимые процессы), или остается постоянной (обратимые процессы).

Обратим внимание, что изменение энтропии не зависит от пути, по которому система переходит от начального состояния к конечному. Функции, изменение которых не зависит от пути процесса, называются функциями состояния (например, работа консервативной силы).

1.1 Основное уравнение термодинамики

Воспользовавшись четырьмя принципами термодинамики, изложенными в предыдущей лекции, можно получить основное неравенство и основное уравнение термодинамики.

Согласно второму началу термодинамики, элементарное количество теплоты δQ связано с изменением энтропии системы dS следующим неравенством: $TdS \geq \delta Q$. Совместно с первым началом термодинамики $\delta Q = dU + PdV$ имеем **основное неравенство термодинамики**

$$TdS \geq dU + PdV. \quad (1)$$

В этом выражении знак равенства соответствует равновесным термодинамическим процессам, а знак неравенства – неравновесным. Для анализа равновесных процессов это выражение можно записать в виде уравнения

$$TdS = dU + PdV, \quad (2)$$

которое носит название **основного уравнения термодинамики равновесных (обратимых) процессов**. Это уравнение позволяет проводить расчет любых равновесных термодинамических процессов. В частности, это уравнение позволяет найти соотношение между уравнением состояния $P(V, T)$ и выражением для внутренней энергии $U(V, T)$ термодинамической системы.

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \quad (3)$$

Внутренняя энергия идеального газа $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$ не зависит от его объема, а является функцией только его

температуры: $U=f(T)$. Так как внутренняя энергия идеального газа пропорциональна количеству вещества, а его молярная теплоемкость C_V не зависит от температуры, то изменение энтропии тепловой материи:

$$dS = \frac{dU + dA}{T} = C_V \frac{dT}{T} + p \frac{dV}{T} = N_M c_V \frac{dT}{T} + N_M R \frac{dV}{V} = N_M \left(c_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} \right), \quad (4)$$

где N_M – число молей, R – газовая постоянная, c_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме. Заметим, что число молей тоже может меняться при тепловом явлении, тогда получаем:

$$dS = N_M \left(c_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} \right) + dMS,$$

где S – энтропия при данных p , V и T .

Из этой формулы следует, что: Приращение энтропии тепловой матери отражает изменение количества (dM) этой материи при постоянных прочих условиях и отражает способности этой материи накапливать тепло ($c_V \cdot dT/T$) и расширяться ($R \cdot dV/V$) для данного количества (M) материи.

Под тепловой материей понимается набор тепловых частиц тела. Под тепловой частицей понимается любая частица, имеющая тепловое движение. Под тепловым движением понимается любое хаотическое движение:

- поступательное – прямолинейное движение,
- орбитальное – движения по орбитам, сферическим, эллипсным, гантелевидным и прочим,

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭНТРОПИЯ

Энтропия (S) – приведенное количество тепла, отнесенное к абсолютной температуре. Изменение энтропии dS для обратимого равновесного процесса равно:

$$\begin{aligned} dS &= \frac{dQ}{T}, \text{ кал/моль.град} \\ dQ &= C_V dT \\ dS &= \frac{C_V dT}{T} = C_V d \ln T \\ dS &= \frac{C_p dT}{T} = C_p d \ln T \end{aligned}$$

Энтропия - экстенсивная величина. Её относят к данной массе вещества (моль, атом, грамм, кг. и т. п.).

- вращательное – вращение вокруг своей оси,
- колебательное – прямолинейное циклическое движение (может быть принято как орбитальное, где орбита это линейный отрезок).

Если же взять абсолютные величины, тогда формула примет вид:

$$S = \frac{U + A}{T} = M \frac{u + a}{T},$$

где u – тепловая энергия тепловой материи на единицу количества материи, a – работа расширения тепловой материи на единицу количества материи.

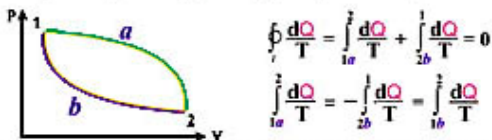
А физическая суть энтропии будет

следующей:

Энтропия отражает количество тепловой материи (M – число молей), накопившей удельную тепловую энергию (u) и совершившей удельную работу расширения (a) относительно температуры (T) этой материи.

Энтропия

Из теоремы Карно следует, что для обратимого цикла



Для обратимого процесса интеграл от приведенной теплоты ($\int \frac{dQ}{T}$) не зависит от пути, по которому протекает процесс



Следовательно, существует функция состояния системы (получившая название ЭНТРОПИЯ), приращение которой в обратимом процессе

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Энтропия системы

$$S_{\text{сист}} = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ – энтропии составных частей системы



III начало (теорема Нернста)

$$\lim_{T \rightarrow 0} S_{\text{сист}} = 0$$

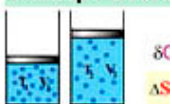
Э

Энтропия - функция в любом равн

δQ - элемент (систем

В любом неравн (необратимом) п

Изобарический



Изотермический



В $\Delta S = 0$ для с п

Еще можно сказать, что энтропия тела при заданной температуре – это количество материи с некоторой способностью сжиматься. Чем больше энтропия, тем больше мы можем сжать тело, и тем больше тело уже совершило работы.

Интегрирование (*) позволяет определить зависимость энтропии идеального газа от его объема и температуры $S(V, T)$:

$$S = M \left(c_V \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) + R \ln \left(\frac{V}{V_0} \right) \right) + S_0,$$

где: T_0 , V_0 и S_0 - константы, имеющие размерности температуры, объема и энтропии соответственно.

Это выражение позволяет рассчитывать энтропию идеального газа при достаточно высоких температурах.

1.2 Термодинамические потенциалы

Описание равновесных термодинамических процессов может быть выполнено с помощью **метода термодинамических потенциалов**, разработанного в 1873 - 78 годах американским физиком-теоретиком **Джозайя Гиббсом**. Этот метод аналогичен использованию в механике потенциальной энергии для описания консервативных механических систем. Метод термодинамических потенциалов основывается на возможности введения для равновесных процессов функций состояния, полные дифференциалы которых описывают изменение состояния термодинамической системы.

Основное уравнение термодинамики равновесных процессов $TdS = dU + PdV$ совместно с уравнением состояния $P = P(V, T)$ и выражением для внутренней энергии $U = U(V, T)$ образуют систему из трех уравнений, связывающую между собой пять функций состояния: V , T , P , U и S . Если в качестве независимых параметров выбрать объем V и температуру T , то система уравнений оказывается полностью разрешимой и позволяет определить давление P , внутреннюю энергию U и энтропию S .

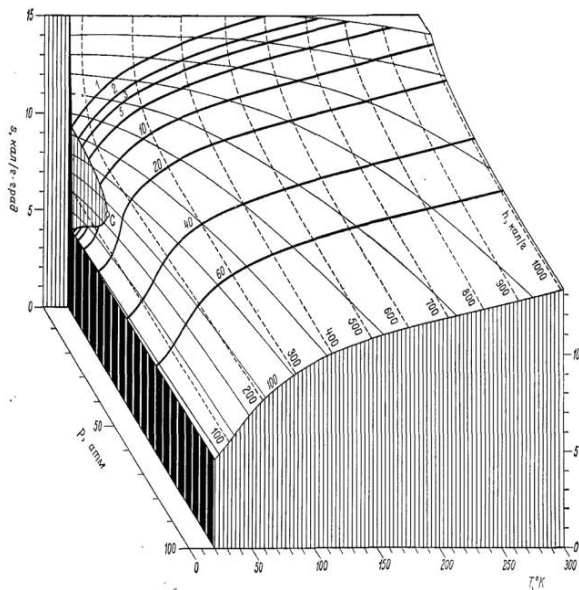


Рис. 1. Энтропия водорода.

В зависимости от выбора двух независимых параметров можно ввести **термодинамические потенциалы**, дифференцирование которых дает возможность определить другие, неизвестные параметры состояния. При этом используются формулы, которые по своей структуре аналогичны выражению из механики, связывающему потенциальную энергию и консервативную силу. В зависимости от того, какие параметры состояния термодинамической системы приняты как независимые переменные, можно ввести термодинамические потенциалы.

Возьмем в качестве независимых параметров состояния объем V и энтропию S запишем через эти переменные выражение для внутренней энергии $U = U(V, S)$. Тогда: $dU = TdS - PdV$. Учитывая правило нахождения полного дифференциала, имеем $T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V$, $P = - \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S$. Эти формулы аналогичны

выражениям для нахождения сил в механике через потенциальную энергию консервативной механической системы. Таким образом, внутренняя энергия, выраженная через параметры состояния V и S , является термодинамическим потенциалом. Использование в качестве независимых параметров V и S не очень удобно, так как величина энтропии S не может быть определена путем непосредственных измерений. Внутренняя энергия $U(V, S)$ при практических расчетах обычно используется только в случаях, если система является адиабатически изолированной ($S = \text{const}$) или процесс происходит без совершения работы, что имеет место при постоянном объеме системы ($V = \text{const}$).

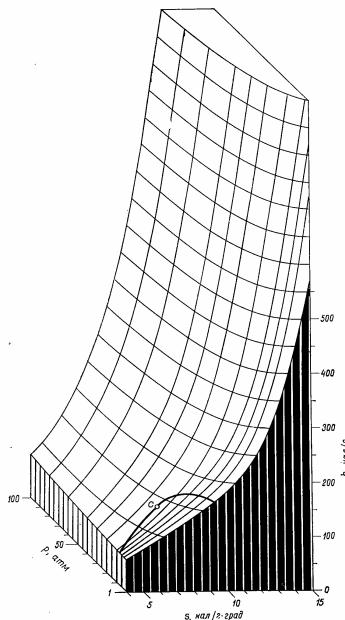
Рассмотрим случай, когда независимыми параметрами состояния являются давление P и энтропия S . Перепишем $d(U + PV) = TdS + VdP$, тогда введение функции состояния $H(P, S) = U + PV$ приводит к $dH = TdS + VdP$. С учетом правила нахождения полного дифференциала dH имеем

$$T = \left(\frac{\partial S}{\partial S} \right)_P \text{ и } T = \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_S$$

Функция $H(P, S)$ является термодинамическим потенциалом при независимых параметрах P и S , и называется **энтальпией**.

Если процесс происходит при постоянном давлении ($P=\text{const}$), то, учитывая формулу $TdS=\delta Q$, имеем $dH=\delta Q$. Следовательно, приращение энтальпии при изобарическом процессе равно количеству теплоты, полученной системой. Энтальпию удобно применять для описания адиабатически изолированных систем, находящихся при постоянном давлении, так как для систем, на которые действуют только механические силы, этот термодинамический потенциал не изменяется.

Рис. 2. Энтальпия водорода.



Если в качестве независимых параметров выбрать объем V и температуру T , и уравнение записать $d(U-TS)=-SdT-PdV$ то функция состояния $\Psi(V, T)=U-TS$ будет термодинамическим потенциалом. Действительно, применяя правило нахождения полного дифференциала для выражения $d\Psi=-SdT-PdV$ имеем $S = -\left(\frac{\partial \Psi}{\partial T} \right)_V$, $P = -\left(\frac{\partial \Psi}{\partial V} \right)_T$.

Термодинамический потенциал $\Psi(V, T)$ называется **свободной энергией** или **термодинамическим потенциалом Гельмгольца**.

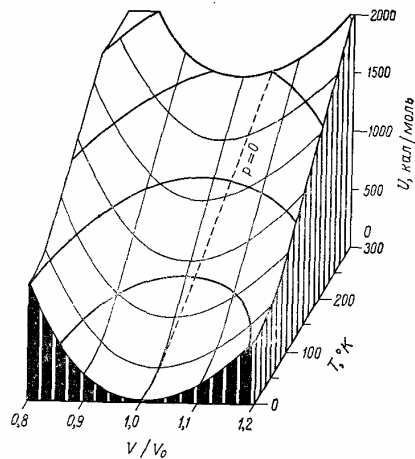
Табл. 1. Термодинамические функции и их представление в виде полных дифференциалов

Термодинамические функции (определение)	Естественные переменные	Полный дифференциал
Внутренняя энергия U	S, V, N_i	$dU = TdS - PdV + \sum \mu_i dN_i$
Энтальпия $H = U + pV$	S, p, N_i	$dH = TdS + Vdp + \sum \mu_i dN_i$
Свободная энергия Гельмгольца (или просто свободная энергия) $F = U - TS$	T, V, N_i	$dF = -SdT - PdV + \sum \mu_i dN_i$
Свободная энергия Гиббса * (или термодинамический потенциал) $G = F + pV = \sum N_i \mu_i$	T, p, N_i	$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dN_i$
Большой потенциал ** $J = -pV = F - G$	T, V, μ_i	$dJ = -SdT - PdV - \sum N_i d\mu_i$
Энтропия S	U, V, N_i	$dS = \frac{dU}{T} + \frac{p}{T}dV - \sum \frac{\mu_i}{T}dN_i$
Функция Массье $\Psi = -\frac{F}{T}$	$\frac{1}{T}, V, N_i$	$d\Psi = -Ud\left(\frac{1}{T}\right) + \frac{p}{T}dV - \sum \frac{\mu_i}{T}dN_i$
Функция Планка $\Phi = -\frac{G}{T}$	$\frac{1}{T}, p, N_i$	$d\Phi = -Hd\left(\frac{1}{T}\right) - \frac{V}{T}dp - \sum \frac{\mu_i}{T}dN_i$
Функция Крамерса $q = -\frac{J}{T}$	$\frac{1}{T}, V, \frac{\mu_i}{T}$	$dq = -Ud\left(\frac{1}{T}\right) + \frac{p}{T}dV + \sum N_i d\left(\frac{\mu_i}{T}\right)$

При изотермическом процессе ($T=\text{const}$) с учетом выражения для работы $PdV=\delta A$, имеем $d\Psi=-\delta A$. Из этого выражения следует, что при изотермическом процессе свободная энергия является функцией состояния, уменьшение которой равно работе, совершенной системой.

При изотермическом процессе свободная энергия изменяется таким же образом, как внутренняя при адиабатическом процессе. При описании необратимого процесса, для которого необходимо применять неравенство $TdS > dU + PdV$, имеем $d\Psi < -SdT - PdV$.

Если в системе происходит необратимый процесс, при котором температура и давление остаются постоянными, то для такого процесса $d\Psi < 0$, а для обратимого - соответственно $d\Psi = 0$. Это означает, что при необратимом процессе свободная энергия уменьшается, и достигает своего минимума при достижении термодинамической системой состояния равновесия. Условие минимума свободной энергии для состояний, при которых $T = \text{const}$ и $V = \text{const}$, применяется при определении параметров, характеризующих равновесное состояние термодинамической системы.



При выборе в качестве независимых переменных давления P и температуры T и введения функции состояния в форме

$$G(P, T) = U - TS + PV$$

получим $dG = -SdT + VdP$. Так как dG является полным дифференциалом, то имеем: $S = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P$ и $M = \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$.

Функция $G(P, T)$ называется **термодинамическим потенциалом Гиббса (энергией Гиббса)**.

Рис. 3. Внутренняя энергия натрия.

Определение: Энергией Гиббса (или потенциалом Гиббса, или просто **термодинамическим потенциалом** в узком смысле) называют термодинамический потенциал следующего вида:

$$G = U + PV - TS,$$

где U – внутренняя энергия, P – давление, V – объём, T – абсолютная температура, S – энтропия. Энергию Гиббса можно понимать как полную химическую энергию системы (кристалла, жидкости и т.д.)

Дифференциал энергии Гиббса для системы с постоянным числом частиц:

$$dG = -SdT + VdP.$$

Для системы с переменным числом частиц этот дифференциал записывается так:

$$dG = -SdT + VdP + \mu dN.$$

Здесь μ – химический потенциал, т.е. энергия, которую необходимо затратить, чтобы добавить в систему ещё одну частицу. Химический потенциал есть отношение энергии Гиббса к числу частиц в системе: $\mu = G/N$. Химический потенциал применяется при анализе систем с переменным числом частиц, а также при изучении фазовых переходов.

Важно, что минимум потенциала Гиббса соответствует устойчивому равновесию термодинамической системы с фиксированными температурой, давлением и числом частиц.

Для необратимого процесса $dG < -SdT + VdP$, т.е. для необратимого процесса, происходящего при постоянных значениях температуры и давления, потенциал Гиббса уменьшается: $dG < 0$. После достижения системой состояния равновесия потенциал Гиббса принимает минимальное значение и становится постоянной величиной: $dG = 0$. Это позволяет использовать условие минимума потенциала Гиббса для описания равновесных состояний, при которых $T = \text{const}$ и $P = \text{const}$.

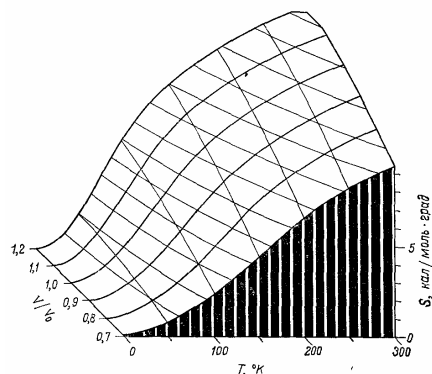


Рис. 4. Энтропия натрия.

Между термодинамическими потенциалами могут быть установлены соотношения, позволяющие выразить одни потенциалы через другие. Важнейшим из них является **уравнение Гиббса-Гельмгольца**:

$$U = \Psi - T \left(\frac{\partial \Psi}{\partial T} \right)_V$$

связывающие между собой внутреннюю энергию U и свободную энергию Ψ .

Внутреннюю энергию системы можно условно представить в виде суммы двух величин «свободной» и «связанной» энергии. Возможность рассчитать величину «свободной» энергии, т.е. той части внутренней энергии системы, которую можно превратить в работу, дает тепловая теорема Нернста, называемая также третьим началом термодинамики.

Рис. 5. Свободная энергия натрия.

Взаимосвязь энтальпии H и потенциала Гиббса G задаётся уравнением

$$H = G - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_P$$

Для термодинамической системы, состоящей из N одинаковых частиц, с помощью потенциала Гиббса можно ввести термодинамический потенциал, рассчитанный на одну частицу:

$$\mu(P, T) = \frac{G(P, T)}{N}$$

Этот термодинамический потенциал называется **химическим потенциалом**. Здесь сделано предположение, что давление и температура остаются неизменными при изменении числа частиц в

термодинамической системе.

Кроме химического потенциала можно так же ввести **удельный термодинамический потенциал**, рассчитанный на единицу массы вещества в системе $\varphi(P, T) = \frac{G(P, T)}{M}$, где M - масса вещества в системе.

Отсюда возникает соотношение между химическим и удельным термодинамическим потенциалами $\mu(P, T) = m\varphi(P, T)$, где m - масса одной частицы вещества. Удельный термодинамический потенциал $d\varphi = -sdT + vdP$. Здесь введены обозначения для удельной энтропии: $s = S/M$ и удельного объема: $v = V/M$.

Выражения для значений удельных энтропии s и объема v через удельный термодинамический потенциал $\varphi(P, T)$ имеют вид:

$$s = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial T} \right)_P \text{ и } v = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial P} \right)_T$$

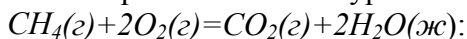
Рис. 6. Термодинамический потенциал натрия.

Удельный термодинамический потенциал (химический потенциал) применяется для описания термодинамических систем с переменным числом частиц. Примером такой системы является система, в которой происходит фазовый переход вещества из одного агрегатного состояния в другое. В седьмой главе нами проведено описание фазовых переходов, при котором использованы свойства удельного термодинамического потенциала.

Коротко остановимся на использовании термодинамических функций в химической термодинамике, в частности, для описания химических реакций.

Тепловой эффект реакции - количество теплоты, выделяемой или поглощаемой системой при химической реакции.

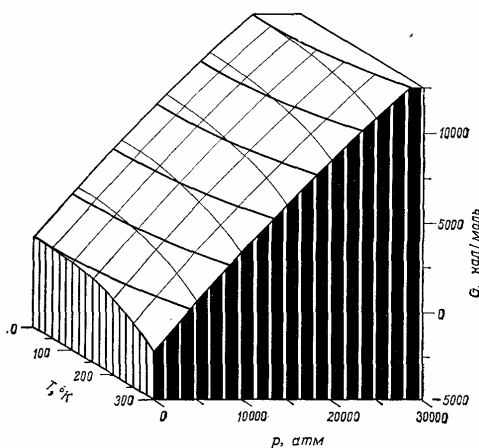
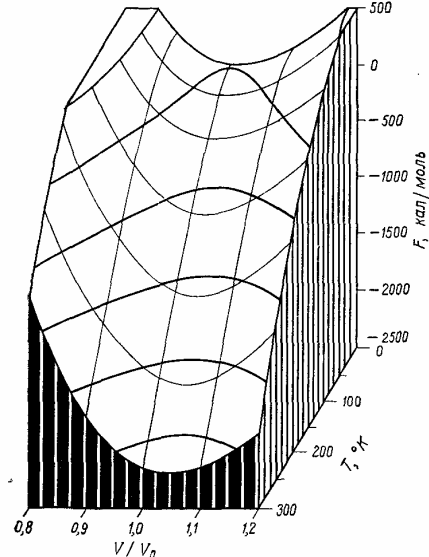
Тепловой эффект работы равен изменению внутренней энергии системы при постоянном объеме или изменению её энтальпии при постоянном давлении и отсутствии работы внешних сил. В зависимости от знака теплового эффекта работы все химические реакции подразделяют на эндо- и экзотермические. Теплота, высвобождаемая или поглощаемая конкретной химической реакцией, пропорциональна степени превращения реагентов, определяемой по количеству любого из расходуемых либо образующихся продуктов. Изменение внутренней энергии или энтальпии реагирующей системы определяют по химическому уравнению реакции. Например, сгорание смеси газообразных метана и кислорода описывается термохимическим уравнением



$$\Delta H^\circ = -212,798 \text{ ккал.}$$

Здесь буквы в скобках обозначают агрегатные состояния веществ (газ или жидкость). Символом ΔH° обозначается изменение энтальпии в химическом превращении при стандартных давлении 1 атм и температуре 298 К (25°C) (знак градуса в верхнем индексе H указывает, что данная величина относится к веществам в стандартных состояниях (при $p = 1$ атм и $T = 298\text{К}$)).

В химических процессах одновременно действуют два противоположных фактора - **энтальпийный** (ΔH) – уменьшение энтальпии системы и **энтропийный** ($T\Delta S$) – увеличение беспорядка в системе вследствие роста её энтропии и. Суммарный эффект этих противоположных факторов в процессах, протекающих при постоянном давлении и температуре, определяет изменение свободной энергии Гиббса (G , кДж):



$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Из этого выражения следует, что $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ – энтальпия реакции включает свободную энергию Гиббса и «несвободную» ΔS^*T : некоторое количество теплоты расходуется на увеличении энтропии ($T\Delta S$), эта часть энергии потеряна для совершения полезной работы, её часто называют **связанной энергией**. Другая часть теплоты (ΔG) может быть использована для совершения работы, поэтому энергию Гиббса часто называют также свободной энергией. Энергия Гиббса, представляющая собой убыль изобарного ($P=\text{const}$) потенциала, равна максимальной полезной работе. Уменьшаясь с течением химического процесса, ΔG достигает минимума в момент равновесия ($\Delta G=0$). Второе слагаемое ΔS^*T (энтропийный фактор) представляет ту часть энергии системы, которая при данной температуре не может быть превращена в работу. Эта связанная энергия способна лишь рассеиваться в окружающую среду в виде тепла (рост хаотичности системы).

Пример: $\Delta S = 300 \frac{\text{Дж}}{\text{Моль} \cdot \text{К}}$, $\Delta H = 500 \frac{\text{кДж}}{\text{Моль}}$, $T = 300\text{К}$, $\Delta G = 410 \frac{\text{кДж}}{\text{Моль}}$, т.е. из выделившихся 500 тепловых единиц мы при комнатной температуре можем превратить в работу только 410 единиц.

Итак, в химических процессах одновременно изменяются энергетический запас системы (энтальпийный фактор) и степень её беспорядка (энтропийный фактор, не совершающая работу энергия).

Характер изменения энергии Гиббса позволяет судить о принципиальной возможности осуществления процесса. При $\Delta G < 0$ процесс может протекать, при $\Delta G > 0$ процесс протекать не может (иными словами, если энергия Гиббса в исходном состоянии системы больше, чем в конечном, то процесс принципиально может протекать, если наоборот - то не может). Если же $\Delta G = 0$, то система находится в состоянии химического равновесия.

Обратите внимание, что речь идёт исключительно о *принципиальной* возможности протекания реакции. В реальных же условиях реакция может не начинаться и при соблюдении неравенства $\Delta G < 0$ (по кинетическим причинам).

Существует полезное соотношение, связывающее изменение свободной энергии Гиббса ΔG в ходе химической реакции с ее константой равновесия K :

$$\Delta G = -RT \ln(K)$$

Вообще говоря, любая реакция может быть рассмотрена как обратимая (даже если на практике она таковой не является). При этом константа равновесия определяется как

$$K = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

где k_1 - константа скорости прямой реакции, k_{-1} - константа скорости обратной реакции.

При $\Delta G < 0$ реакция термодинамически разрешена и система стремится к достижению условия $\Delta G = 0$, при котором наступает равновесное состояние обратимого процесса; $\Delta G > 0$ указывает на то, что процесс термодинамически запрещен.

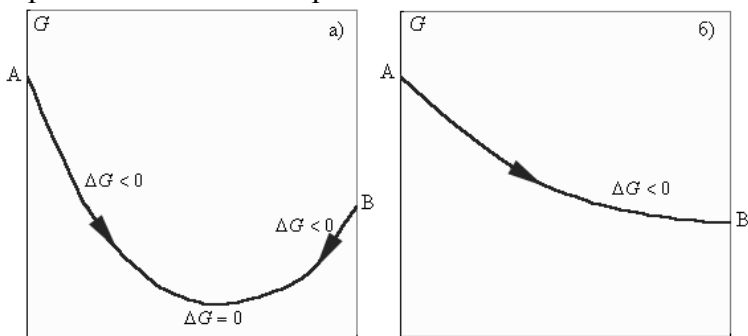


Рис. 7. Изменение энергии Гиббса: а – обратимый процесс; б – необратимый процесс

Анализ уравнения (1) позволяет установить, какой из факторов, составляющих энергию Гиббса, ответственен за направление протекания химической реакции, энтальпийный (ΔH) или энтропийный (ΔS^*T).

Если $\Delta H < 0$ и $\Delta S > 0$, то всегда $\Delta G < 0$ и реакция возможна при любой температуре. Если $\Delta H > 0$ и $\Delta S < 0$, то всегда $\Delta G > 0$, и реакция с поглощением теплоты и уменьшением энтропии невозможна ни при каких условиях. В остальных случаях ($\Delta H < 0$, $\Delta S < 0$ и $\Delta H > 0$, $\Delta S > 0$) знак ΔG зависит от соотношения ΔH и $T\Delta S$. Реакция возможна, если она сопровождается уменьшением изобарного потенциала; при комнатной температуре, когда значение T невелико, значение $T\Delta S$ также невелико, и обычно изменение энтальпии больше $T\Delta S$. Поэтому большинство реакций, протекающих при комнатной температуре, экзотермичны. Чем выше температура, тем больше $T\Delta S$, и даже эндотермические реакции становятся осуществляемыми.

Проиллюстрируем эти четыре случая соответствующими реакциями:

1. $\Delta H < 0$ $C_2H_5-O-C_2H_5 + 6O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$
 $\Delta S > 0$ (реакция возможна при любой температуре)
 $\Delta G < 0$
2. $\Delta H > 0$ реакция невозможна
 $\Delta S < 0$
 $\Delta G > 0$
3. $\Delta H < 0$ $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ (возможна при низкой температуре)
 $\Delta S < 0$
 $\Delta G > 0$,
 $\Delta G < 0$
4. $\Delta H > 0$ $N_2O_{4(g)} = 2NO_{2(g)}$ (возможна при высокой температуре).
 $\Delta S > 0$
 $\Delta G > 0$,
 $\Delta G < 0$

Для оценки знака ΔG реакции важно знать величины ΔH и ΔS наиболее типичных процессов. ΔH образования сложных веществ и ΔH реакции лежат в пределах 80–800 кДж·моль⁻¹. Энтальпия реакции сгорания $\Delta H^0_{\text{сгор}}$ всегда отрицательна и составляет тысячи кДж·моль⁻¹. Энтальпии фазовых переходов обычно меньше энтальпий образования и химической реакции $\Delta H_{\text{пар}}$ – десятки кДж·моль⁻¹, $\Delta H_{\text{крист}}$ и $\Delta H_{\text{плав}}$ равны 5-25 кДж·моль⁻¹. Зависимость ΔH от температуры выражается соотношением $\Delta H_T = \Delta H^0 + \Delta C_p \cdot \Delta T$, где ΔC_p – изменение теплоемкости системы. Если в интервале температур 298К – T реагенты не претерпевают фазовых превращений, то $\Delta C_p = 0$, и для расчетов можно пользоваться значениями ΔH^0 .

Энтропия индивидуальных веществ всегда больше нуля и составляет от десятков до сотен Дж·моль⁻¹·К⁻¹. Знак ΔG определяет направление реального процесса. Однако для оценки осуществимости процесса обычно пользуются значениями стандартной энергии Гиббса ΔG^0 . Величина ΔG^0 не может использоваться в качестве критерия вероятности в эндотермических процессах со значительным возрастанием энтропии (фазовые переходы, реакции термического разложения с образованием газообразных веществ и др.). Такие процессы могут быть осуществлены за счет энтропийного фактора при условии: $T > \frac{\Delta H^0}{\Delta S^0}$.

Итак, энтальпия и энтропия характеризуют две противоположные тенденции, проявляющиеся в природе химической реакции. Энтальпийный фактор определяет стремление системы к минимальной энергии, а, следовательно, к увеличению упорядоченности (ассоциации её компонентов). Энтропийный фактор, напротив, характеризует стремление системы к максимальной неупорядоченности. Обе тенденции сосуществуют в природе химической реакции, представляя собой два компонента единого целого. Одни реакции характеризуются преобладанием энтальпийной составляющей, в других преимущественное значение имеет энтропийный фактор. Третья термодинамическая функция состояния - свободная энергия Гиббса (или изобарно-изотермический потенциал) является своеобразной равнодействующей указанных выше факторов.

Изменение свободной энергии Гиббса в ходе химической реакции при постоянных температуре и давлении может быть рассчитано по формуле

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S.$$

При стандартных условиях

$$\Delta G_0 = \Delta H_0 - T \Delta S_0$$

Стандартной молярной свободной энергией Гиббса образования ($\Delta G_{0\text{обр}}$ или ΔG_{0f}) данного химического соединения называют изменение этой функции, сопровождающее процесс образования 1 моль данного соединения в стандартном состоянии при стандартных условиях из простых веществ в их стандартных состояниях. Свободные энергии образования выражаются в кДж/моль. Как и для ΔH_{0f} , значения ΔG_{0f} простых веществ приняты равными нулю. Свободная энергия образования химических соединений является мерой их устойчивости. В ходе химической реакции происходит изменение свободной энергии Гиббса. Если по значениям ΔH и ΔS можно прогнозировать тип реакции (эндо- или экзотермический) и характер изменения неупорядоченности системы в ходе ее протекания соответственно, то значения ΔG позволяют оценивать принципиальную возможность самопроизвольного протекания химического процесса при тех условиях, для которых эти значения были вычислены. Если протекание данной химической реакции сопровождается убылью термодинамического потенциала ($\Delta G < 0$), то говорят о принципиальной возможности ее самопроизвольного протекания при данных условиях. При этом более отрицательные величины ΔG отвечают большей энергичности химических взаимодействий. Напротив, рост термодинамического потенциала ($\Delta G > 0$) характеризует реакции, самопроизвольное протекание которых

при данных условиях принципиально невозможно. В этом случае осуществляется обратная реакция. Следует подчеркнуть тот факт, что речь идет именно о самопроизвольном протекании реакции, а не о том, что её невозможно осуществить вообще. Наконец, равенство $\Delta G = 0$ отвечает состоянию химического равновесия.

Например, стандартное изменение свободной энергии Гиббса для реакции термического разложения карбоната кальция



характеризующейся значениями $\Delta H_0 = +178$ кДж и $\Delta S_0 = +0,161$ кДж/К, стандартное изменение свободной энергии Гиббса составит:

$$\Delta G = +178 - 298 \cdot 0,161 = +130 \text{ кДж}$$

(значение ΔS_0 переведено в кДж/К согласно соотношению $1 \text{ Дж} = 10^{-3} \text{ кДж}$). Поскольку рассчитанная величина положительна, можно утверждать, что рассматриваемая реакция не должна происходить самопроизвольно при стандартных условиях, т.е. при температуре 298К (25°C). Известно, что реакция протекает самопроизвольно при условии: $\Delta G < 0$, т.е. $\Delta H - T\Delta S < 0$, или $T\Delta S > \Delta H$, или $T > \Delta H / \Delta S$, следовательно, разложение карбоната кальция требует температурного режима, характеризуемого неравенством $178 - 0,161T < 0$, которое выполняется при $T > 1106\text{К}$, т.е. реакция разложения пойдёт при температуре выше 1106К.

Анализ величин ΔG позволяет объяснить, почему возможно самопроизвольное протекание эндотермических процессов, сопровождающихся ростом энтропии. В этом случае первостепенную роль играет величина $T\Delta S$, которая компенсирует изменение энтальпии, в результате чего $\Delta G < 0$. Очевидно, такое возможно, если $|\Delta H| < |T\Delta S|$. Если в эндотермической реакции энтропия уменьшается, то сочетание $\Delta S < 0$ с $\Delta H > 0$ в любом случае приводит к положительным значениям ΔG и самопроизвольное протекание прямой реакции становится принципиально неосуществимым при любых температурах. Для экзотермических реакций, происходящих с увеличением энтропии ($\Delta H < 0$, $\Delta S > 0$), величина ΔG будет отрицательной при любых температурах и процесс должен протекать самопроизвольно. Если же в таких реакциях $\Delta S < 0$, то условием их самопроизвольного протекания является $|\Delta H| > T\Delta S$.

Неравенство $\Delta G < 0$ указывает на принципиальную возможность самопроизвольного протекания данной химической реакции при изобарно-изотермических условиях. Аналогичным образом убыль величины свободной энергии Гельмгольца ($\Delta F < 0$) является условием возможности самопроизвольного протекания реакции при изохорно-изотермических условиях. Вопрос о том, будет ли эта реакция действительно происходить, решается оценкой её скорости. Скорость реакций изучает другой раздел химии – химическая кинетика.

Итак, энтальпия, ΔH , характеризует величину теплового эффекта химической реакции; энтропия, ΔS , изменение степени неупорядоченности состояния системы; свободная энергия ΔG принципиальную возможность самопроизвольного протекания реакции в данном направлении.

Экзотермическая реакция: $\Delta H < 0$, выделение тепла. Эндотермическая реакция: $\Delta H > 0$, поглощение тепла. Возрастание неупорядоченности (уменьшение упорядоченности) состояния системы: $\Delta S_0 > 0$. Примеры: превращения твёрдых веществ в жидкие или газообразные; превращения жидких веществ в газообразные, газовые реакции, сопровождающиеся увеличением количеств газообразных веществ. Уменьшение неупорядоченности (возрастание упорядоченности) состояния системы: $\Delta S_0 < 0$. Примеры: превращения газообразных или жидких веществ в твёрдые; газовые реакции, сопровождающиеся уменьшением количеств газообразных веществ.

Критерии самопроизвольного протекания процесса:

1. $\Delta G_0 < 0$, данная химическая реакция принципиально осуществима при стандартных условиях;
2. $\Delta G_0 > 0$, данная химическая реакция принципиально неосуществима при стандартных условиях (происходит обратная реакция); $\Delta G_0 = 0$, состояние химического равновесия.

Если читатель разобрался в термодинамике, то ему не трудно сформулировать, что есть энергия Гиббса для зайца или волка. Проверь себя!

2. СВОЙСТВА ЭНТРОПИИ

Изменение энтальпии системы не может служить единственным критерием самопроизвольного осуществления химической реакции, поскольку многие эндотермические процессы протекают самопроизвольно. Иллюстрацией этого служит растворение некоторых солей (например, NH_4NO_3) в воде, сопровождающееся заметным охлаждением раствора. Необходимо учитывать еще один фактор, определяющий способность самопроизвольно переходить из более упорядоченного к менее упорядоченному (более хаотичному) состоянию.

Энтропия (S) – термодинамическая функция состояния, которая служит мерой беспорядка (неупорядоченности) системы. Возможность протекания эндотермических процессов обусловлена

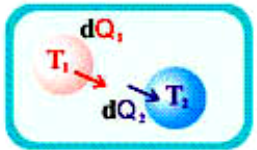
изменением энтропии, ибо в изолированных системах энтропия самопроизвольно протекающего процесса увеличивается $\Delta S > 0$ (второй закон термодинамики).

Энтропия и равновесное состояние

В изолированной системе

$$dS \geq 0$$

= - для обратимых процессов
> - для необратимых процессов



адиабатическая оболочка

В изолированной системе тело с температурой T_1 отдает теплоту δQ_1 , а тело с температурой T_2 принимает теплоту δQ_2

$$\delta Q_1 < 0, \delta Q_2 > 0$$

$$T_1 > T_2, -\delta Q_1 = \delta Q_2$$

Приращение энтропии системы:

$$dS = dS_1 + dS_2 = \frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} > 0$$

К равновесному состоянию система приходит при протекании необратимых процессов

Теплота передается от тел более нагретых к телам менее нагретым

Равновесное состояние соответствует максимальному значению энтропии

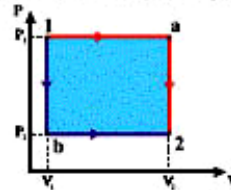
$$S_{\text{равновес}} = S_{\text{max}}$$

Теплота. Работа. Внутренняя энергия Энтропия

Задание

ν молей идеального газа перевели из состояния 1 в состояние 2 по пути $1 \rightarrow a \rightarrow 2$, а затем по пути $1 \rightarrow b \rightarrow 2$.

Сравните работу, совершенную газом (A), количество сообщенного ему тепла (Q), приращение внутренней энергии (ΔU) и приращение энтропии (ΔS)



1. $A_{1a2} = P_1(V_2 - V_1)$ (сравните площади под соответствующими графиками)
 $A_{1b2} = P_2(V_2 - V_1)$

$$A_{1a2} > A_{1b2}$$

$$\left. \begin{aligned} 2. \Delta U_{1a2} &= \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \\ \Delta U_{1b2} &= \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$\Delta U_{1a2} = \Delta U_{1b2}$$

$$\left. \begin{aligned} 3. Q_{1a2} &= A_{1a2} + \Delta U \\ Q_{1b2} &= A_{1b2} + \Delta U \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$Q_{1a2} > Q_{1b2}$$

$$\left. \begin{aligned} 4. \Delta S_{1a2} &= \Delta S_{1a} + \Delta S_{a2} = C_p \nu \ln \frac{V_2}{V_1} + C_v \nu \ln \frac{P_2}{P_1} \\ \Delta S_{1b2} &= \Delta S_{1b} + \Delta S_{b2} = C_v \nu \ln \frac{P_2}{P_1} + C_p \nu \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$\Delta S_{1a2} = \Delta S_{1b2}$$

Приращение внутренней энергии и энтропии

не зависит от формы пути, по которому протекает процесс

Энтропия - сокращение доступной энергии вещества в результате передачи энергии. **Первый закон термодинамики** гласит, что энергию невозможно создать или уничтожить. Следовательно, количество энергии во вселенной всегда такое же, как было и при ее создании. **Второй закон термодинамики** гласит, что коэффициент полезного действия ни одного реального (необратимого) процесса не может быть 100% при преобразовании энергии в работу. Следовательно, количество энергии для преобразования в работу или теплоту непрерывно уменьшается со временем, так как теплота спонтанно переходит из более теплой области к более холодной. Другими словами, количество энергии во вселенной **остается постоянным**, но её способность использования для того, чтобы проделать полезную работу, уменьшается при каждой теплопередаче и выполнении работы. **Энтропия** используется для измерения уменьшения пригодности энергии в результате процесса. Термин «**энтропия**» используется для описания количества хаотичности в любой системе. В термодинамике **энтропия** указывает расположение молекул вещества или организацию энергии системы. Системы или вещества с высоким значением энтропии более дезорганизованы, чем с низким. Например, у молекул в твердых телах определенная кристаллическая структура, благодаря чему они лучше организованы, и у них ниже значение энтропии. При сообщении телу теплоты и изменении его состояния на жидкое увеличивается уровень его энтропии, т. к. кинетическая энергия увеличивает колебания молекул, в результате чего их положение становится случайным.

2.1 Некоторые определения

Как уже упоминалось, энтропия в термодинамике была введена Р.Клаузиусом (1865) на основе второго начала термодинамики, которое можно сформулировать математически в виде Клаузиуса неравенства $\oint \frac{\delta Q}{T} \geq 0$. Интеграл берётся по замкнутому циклическому процессу, при котором система получает (или у неё отбирают) малые количества теплоты δQ при соответствующих значениях абсолютной температуры T . Знак равенства относится к обратимым процессам (равенство Клаузиуса).

Напомним, что второе начало термодинамики задает направленность процессов, протекающих в изолированной термодинамической системе. Оно гласит:

изменение энтропии изолированной системы всегда положительно $dS > 0$ или равно нулю в случае достижения энтропией своего максимального значения. Другими словами энтропия изолированной системы не может убывать.

Состояние с максимальным значением энтропии является равновесным. Еще раз отметим, что данная формулировка имеет статистический смысл, т.е. возможны некоторые отрицательные флуктуации изменения энтропии в отдельные моменты времени.

Возрастать энтропия может по двум причинам:

- вследствие необратимого процесса перехода системы в равновесное (более вероятное) состояние;
- вследствие сообщения системе определенного количества теплоты.

Термодинамическая энтропия - <http://profbeckman.narod.ru/InformLekc.htm> аддитивная термодинамическая величина, функция состояния термодинамической системы

Пусть некоторое термически равновесное состояние α_0 выбрано в качестве исходного состояния рассматриваемой системы. Энтропия $S(\alpha)$ системы в другом равновесном состоянии α определяется соотношением

$$S(\alpha) = \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{d'Q}{T},$$

где интегрирование проводится вдоль любого квазистатического процесса, связывающего состояния α и α_0 , $d'Q$ - количество тепла (Q/T – приведённое тепло), поглощенное системой при температуре T за бесконечно малую часть всего процесса. В дифференциальной форме это определение принимает вид

$$dS = \frac{d'Q}{T}.$$

Энтропия - мера необратимого рассеяния энергии. Для обратимых (квазиравновесных) процессов оно было определено так:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T},$$

где ΔS — изменение энтропии, ΔQ — изменение теплоты, T — абсолютная термодинамическая температура.

В дифференциальной форме энтропия представляется как:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

т.е. энтропия - функция состояния S термодинамической системы, изменение которой dS для бесконечно малого обратимого изменения состояния системы равно отношению количества теплоты δQ полученного системой в этом процессе (или отнятого от системы), к абсолютной температуре T . В отличие от (dQ), оно применимо не только к изотермическим процессам. (dS – полный дифференциал функции S). Величина dS является полным дифференциалом функции S , т. е. ее интегрирование по любому произвольно выбранному пути даёт разность между значениями энтропии в начальном (A) и конечном (B) состояниях:

$$\int_A^B dS = S_B - S_A.$$

Теплота не является функцией состояния, поэтому интеграл от δQ зависит от выбранного пути перехода между состояниями A и B . Размерность энтропии 1 моля вещества совпадает с размерностью газовой постоянной R и равна Дж/(моль-градК).

Интегральная форма энтропии для обратимых (квазиравновесных) процессов имеет вид:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T},$$

где S_A и S_B - энтропия начального (A) и конечного (B) состояния соответственно A и B – произвольные состояния, заданные, например, значениями температур и объёмов).

Интегрирование здесь ведётся вдоль пути любого квазистатического обратимого процесса, связывающего состояния A и B . Таким образом, из второго начала термодинамики следует, что существует однозначная функция состояния S , которая при обратимых адиабатических процессах ($\delta Q=0$) остаётся постоянной.

Несмотря на то, что энтропия выражается через процессы, она является функцией состояния, то есть каждому состоянию соответствует определённое её значение. Однако, как видно из формул, она определена с точностью до константы, и выбор состояния с нулевым значением условен. Основываясь на третьем начале термодинамики, за нулевое значение энтропии принимают таковое у системы с температурой, равной абсолютному нулю.

Для необратимых процессов выполняется неравенство (следующее из неравенства Клаузиуса):

$$S_B - S_A \geq \int_A^B \frac{\delta Q}{T},$$

из которого следует закон неубывания энтропии: в адиабатически изолированных системах при необратимых процессах энтропия может только возрастать (закон возрастания энтропии).

Понятие энтропии как функции состояния системы постулируется вторым началом термодинамики, которое выражает через энтропию различие между необратимыми и обратимыми процессами: для первых $dS > \delta Q/T$ для вторых $dS = \delta Q/T$.

Используя понятие энтропии Клаузиус (1876) дал наиболее общую формулировку 2-го начала термодинамики: при реальных (необратимых) адиабатических процессах энтропия возрастает, достигая максимального значения в состоянии равновесия (2-ое начало термодинамики не является абсолютным, оно нарушается при флуктуациях).

$$\delta Q = dU + \sum_i A_i da_i,$$

Согласно первому началу термодинамики, т.е. сообщаемое системе количество теплоты равно сумме приращения внутренней энергии dU и совершаемой системой элементарной работы, где a_i – внешние параметры состояния, A_i – сопряжённые им внутренние параметры. Когда единственным внешним параметром является объём системы V , элементарная работа равна $p dV$, где p – давление. С учётом первого начала термодинамики дифференциальное определение

$$dS = \frac{dU + \sum_i A_i da_i}{T}$$

энтропии принимает вид (2) откуда следует, что энтропия представляет собой термодинамический потенциал при выборе в качестве независимых переменных внутренней энергии U и внешних параметров a_i .

Частные производные энтропии

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right)_{a_i} \quad (5)$$

$$\text{и } A_i = T \left(\frac{\partial S}{\partial a_i} \right)_U \quad (6)$$

определяют уравнения состояния системы, причём первая из них определяет абсолютную температурную шкалу. Формула (2) определяет лишь с точностью до аддитивной постоянной (т.е. оставляет начала отсчёта энтропии произвольным). Абсолютное значение энтропии можно установить с помощью третьего начала термодинамики, согласно которому $S=0$ при $T=0$.

Свойства энтропии:

- энтропия является аддитивной величиной;
- энтропия – есть функция состояния макросистемы;
- энтропия изолированной системы при протекании необратимых процессов возрастает;
- энтропия макросистемы, находящейся в равновесном состоянии, максимальна.

Энтропия как функция внутренней энергии U системы, объема V и числа молей n_i i -го компонента представляет собой характеристическую функцию. Это является следствием первого и второго начал термодинамики и записывается уравнением:

$$dS = (1/T)dU + (p/T)dV - \sum_i (\mu_i/T)dn_i,$$

где p – давление; μ_i – хим. потенциал i -го компонента. Производные энтропии по естественным переменным U , V и n_i равны:

$$\begin{aligned} (\partial S / \partial U)_{V, n_i} &= 1/T; \quad (\partial S / \partial V)_{U, n_i} = p/T; \\ (\partial S / \partial n_i)_{U, V, n_{j \neq i}} &= -\mu_i/T. \end{aligned}$$

Простые формулы связывают энтропию с теплоемкостями при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_v :

$$C_p = T(\partial S / \partial T)_p; \quad C_v = T(\partial S / \partial T)_v.$$

С помощью энтропии формулируются условия достижения термодинамического равновесия системы при постоянстве ее внутренней энергии, объема и числа молей i -го компонента (изолированная система) и условие устойчивости такого равновесия:

$$(dS)_{U, V, n_i} = 0, \quad (d^2 S)_{U, V, n_i} < 0.$$

Это означает, что энтропия изолированной системы достигает максимума в состоянии термодинамического равновесия. Самопроизвольные процессы в системе могут протекать только в направлении возрастания энтропии. Энтропия относится к группе термодинамических функций, называемых функциями Массье-Планка. Другие функции, принадлежащие к этой группе – функция Массье $\Phi_1 = S - (1/T)U$ и функция Планка $\Phi_2 = S - (1/T)U - (p/T)V$, могут быть получены в результате применения к энтропии преобразования Лежандра. Согласно третьему началу термодинамики, изменение энтропии в обратимой химической реакции между веществами в конденсированном состоянии, стремится к нулю при $T \rightarrow 0$:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0.$$

Постулат Планка (альтернативная формулировка тепловой теоремы) устанавливает, что энтропия любого химического соединения в конденсированном состоянии при абсолютном нуле температуры является условно нулевой и может быть принята за начало отсчета при определении абсолютного значения энтропии вещества при любой температуре. Уравнения (1) и (2) определяют энтропию с точностью до постоянного слагаемого. В химической термодинамике широко используют след. понятия: стандартная энтропия, т. е. энтропия при давлении $p=1,01 \cdot 10^5$ Па (1 атм); стандартная энтропия химической реакции ΔS^0 т. е. разница стандартных энтропий продуктов и реагентов; парциальная молярная энтропия компонента многокомпонентной системы

$$S_{n_i}^0 = (\partial S^0 / \partial n_i)_{T, p, n_j \neq i}.$$

Для расчета химических равновесий применяют формулу:

$$-RT \ln K = \Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T^0,$$

где K - константа равновесия; ΔG_T^0 , ΔH_T^0 и ΔS_T^0 - соответственно стандартные энергия Гиббса, энтальпия и энтропия реакции; R - газовая постоянная. Определение понятия энтропии для неравновесной системы опирается на представление о локальном термодинамическом равновесии. Локальное равновесие подразумевает выполнение уравнения (3) для малых объемов неравновесной в целом системы. При необратимых процессах в системе может осуществляться производство (возникновение) энтропии. Полный дифференциал энтропии определяется в этом случае неравенством Карно-Клаузиуса:

$$dS = dS_i + \delta Q/T$$

где $dS_i > 0$ - дифференциал энтропии, не связанный с потоком тепла δQ , а обусловленный производством энтропии за счет необратимых процессов в системе (диффузии, теплопроводности, химических реакций и т. п.). Локальное производство энтропии $\sigma = dS_i/dt$ (t - время) представляется в виде суммы произведений обобщенных термодинамических сил X_i на обобщенные термодинамические потоки J_i :

$$\sigma = \sum_i X_i J_i.$$

Производство энтропии за счет, например, диффузии компонента i обусловлено силой $X = \text{grad}(-\mu_i/T)$ и потоком вещества J ; производство энтропии за счет химической реакции - силой $X = A/T$, где A - химическое сродство, и потоком J , равным скорости реакции. В статистической термодинамике энтропия изолированной системы определяется соотношением: $S = k \ln \Omega$, где k - постоянная Больцмана; Ω - термодинамический вес состояния, равный числу возможных квантовых состояний системы с заданными значениями энергии, объема, числа частиц. Равновесное состояние системы отвечает равенству заселенностей единичных (невырожденных) квантовых состояний. Возрастание энтропии при необратимых процессах связано с установлением более вероятного распределения заданной энергии системы по отдельным подсистемам. Обобщенное статистическое определение энтропии, относящееся и к неизолированным системам, связывает энтропию с вероятностями различных микросостояний:

$$S = -k \sum_i w_i \ln w_i,$$

где w_i - вероятность i -го состояния.

Связь энтропии с вероятностью состояния системы установлена Л. Больцманом в 1872.

В силу второго начала термодинамики, энтропия S_i замкнутой системы не может уменьшаться (закон неубывания энтропии). Математически это можно записать так: $dS_i \geq 0$, индекс i обозначает так называемую внутреннюю энтропию, соответствующую замкнутой системе. В открытой системе возможны потоки тепла как из системы, так и внутрь неё. В случае наличия потока тепла в систему приходит количество тепла δQ_1 при температуре T_1 и уходит количество тепла δQ_2 при температуре T_2 . Приращение энтропии, связанное с данными тепловыми потоками, равно:

$$dS_o = \frac{\delta Q_1}{T_1} - \frac{\delta Q_2}{T_2}.$$

В стационарных системах обычно $\delta Q_1 = \delta Q_2$, $T_1 > T_2$, так что $dS_o < 0$. Поскольку здесь изменение энтропии отрицательно, то часто употребляют выражение «приток негэнтропии», вместо оттока энтропии из системы. Негэнтропия определяется таким образом как обратная величина энтропии. Суммарное изменение энтропии открытой системы равно:

$$dS = dS_i + dS_o.$$

Если всё время $dS > 0$, то рост внутренней энтропии не компенсируется притоком внешней негэнтропии, система движется к ближайшему состоянию равновесия. Если $dS = 0$, то мы имеем

стационарный процесс с неизменной общей энтропией. В этом случае в системе осуществляется некоторая внутренняя работа с генерацией внутренней энтропии, которая преобразует, например, температуру T_1 внешнего потока тепла в температуру T_2 уходящего из системы потока тепла.

Замечание. Разные формы энергии обладают разным качеством. Электрическая и механическая энергии - более высоким качеством после химической, которая заключена, например, в бензине или в аккумуляторах. Самое низкое качество у тепловой энергии, причём оно тем ниже, чем ниже температура тела. Открытие энтропии дало возможность от общих рассуждений о качестве энергии перейти к её количественной характеристике. Установлено, что если система обладает запасом энергии, то в полезную работу можно превратить не весь этот запас, а лишь его часть, которая называется свободной энергией, её и следует считать мерой качества энергетического запаса системы. Свободная энергия тем меньше, чем больше энтропия. Поэтому можно сделать вывод, что энтропия системы является мерой некачественности её энергетического запаса. С учетом этого закон возрастания энтропии можно сформулировать следующим образом: **энергетический запас замкнутой системы, оставаясь неизменным количественно, с течением времени неуклонно ухудшается качественно.** Все естественные физические и химические процессы стремятся идти в направлении, соответствующем необратимому переходу полезной энергии в хаотическую, неупорядоченную форму.

2.2 Относительное изменение энтропии в различных процессах

Энтропия увеличивается, когда жидкость изменяет состояние на газообразное при потреблении большего количества тепловой энергии. Такая же аналогия существует при описании порядка источников энергии. Если энергия заключена в ограниченном источнике, у нее низкое значение энтропии. Если она распределена среди большого количества молекул, ее интенсивность уменьшается, увеличивая энтропию. Например, если 1,05 кДж энергии у 1000 молекул передать 1 миллиону молекул, интенсивность энергии уменьшится, а энтропия возрастет. Энтропию трудно понять, так как это абстрактное понятие беспорядка энергии во вселенной. Этот беспорядок связан с уменьшением пригодности энергии для преобразования в работу. Энергия всегда становится недоступной, если процессы уменьшают ее интенсивность, распространяя ее по вселенной. Если энергия распределена среди бесчисленных молекул вселенной, разница температур самых холодных и самых теплых участков уменьшается. Если разница температур уменьшается, тепловая энергия, которую можно преобразовать в полезную работу, также уменьшается. Следовательно, любой процесс, который производит увеличение энтропии, уменьшает энергию для будущих процессов. В конечном счете наступит момент, когда энтропия вселенной приблизится к максимальному значению, и преобразование теплоты в работу станет невозможным.

Все процессы теплопередачи в конечном счете **увеличивают энтропию Вселенной**. Хотя энтропия двух процессов может показать математическое уменьшение, как в процессе конденсации или переохлаждения энтропия вселенной все равно увеличивается, так как во всех процессах передачи теплоты от более холодных участков более теплым выполняется работа. Данная работа больше увеличивает энтропию, чем уменьшает при теплопередаче жидкости, когда она охлаждается или конденсируется.

Абсолютное значение энтропии измерить достаточно трудно, поэтому обычно ограничиваются измерением изменения величины энтропии при различного рода процессах.

Термодинамическое определение энтропии основано на рассмотрении обратимых процессов:

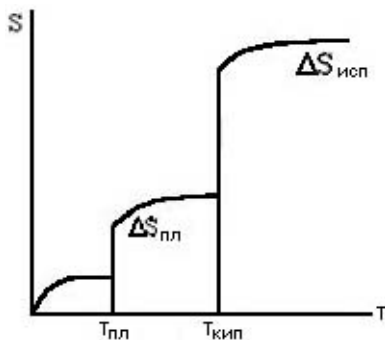
$$dS = \frac{\delta Q_{обр}}{T} \quad (7)$$

Это определение позволяет представить элементарную теплоту в такой же форме, как и различные виды работы:

$$\delta Q_{обр} = TdS, \quad (8)$$

где температура играет роль обобщенной силы, а энтропия - обобщенной (тепловой) координаты.

Рис. 8 Зависимость энтропии вещества от температуры (с учётом процессов плавления, кипения и испарения).



термодинамическим параметрам:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p = \frac{C_p}{T}, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T},$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V. \quad (9)$$

Последние два тождества представляют собой *соотношения Максвелла*.

1) *Нагревание или охлаждение при постоянном давлении.*

Количество теплоты, необходимое для изменения температуры системы, выражают с помощью теплоемкости: $\delta Q_{\text{обр}} = C_p dT$.

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q_{\text{обр}}}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT \quad (10)$$

Если теплоемкость не зависит от температуры в интервале от T_1 до T_2 , то уравнение (4.8) можно проинтегрировать:

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (11)$$

Если изменение температуры происходит при постоянном объеме, то в формулах (4.9) и (4.10) C_p надо заменить на C_V .

2) *Изотермическое расширение или сжатие.*

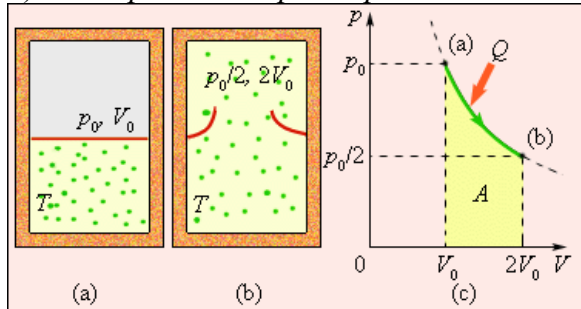


Рис. 9. Расширение газа в «пустоту». Изменение энтропии $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{A}{T} > 0$, где $A=Q$ – работа газа при обратимом изотермическом расширении.

Рис. иллюстрирует необратимый процесс расширения газа «в пустоту» в отсутствие теплообмена. Только начальное и конечное состояния газа в этом процессе являются равновесными, и их можно изобразить на диаграмме (p, V) .

Точки (a) и (b), соответствующие этим состояниям, лежат на одной изотерме. Для вычисления изменения ΔS энтропии можно рассмотреть обратимый изотермический переход из (a) в (b). Поскольку при изотермическом расширении газ получает некоторое количество теплоты от окружающих тел $Q>0$, можно сделать вывод, что при необратимом расширении газа энтропия возросла: $\Delta S>0$.

Для расчета энтропии в этом случае надо знать уравнение состояния системы. Расчет основан на использовании соотношения Максвелла:

$$\Delta S = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dV \quad (12)$$

В частности, для изотермического расширения идеального газа ($p = nRT/V$)

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (13)$$

Этот же результат можно получить, если использовать выражение для теплоты изотермического обратимого расширения идеального газа: $Q_{\text{обр}} = nRT \ln(V_2/V_1)$.

3) *Фазовые переходы.*

При обратимом фазовом переходе температура остается постоянной, а теплота фазового перехода при постоянном давлении равна $\Delta H_{\text{фп}}$, поэтому изменение энтропии равно:

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int \delta Q_{\text{ф.п.}} = \frac{\Delta H_{\text{ф.п.}}}{T_{\text{ф.п.}}} \quad (14)$$

При плавлении и кипении теплота поглощается, поэтому энтропия в этих процессах возрастает: $S_{\text{тв}} < S_{\text{ж}} < S_{\text{г}}$. При этом энтропия окружающей среды уменьшается на величину $\Delta S_{\text{ф.п.}}$, поэтому изменение энтропии Вселенной равно 0, как и полагается для обратимого процесса в изолированной системе.

Очевидно, что энтропия жидкости существенно превышает энтропию твердого тела, а энтропия газа – энтропию жидкости. $S_{\text{газ}} \gg S_{\text{ж}} \gg S_{\text{тв}}$. Переход жидкости в газообразное состояние ведёт к повышению энтропии. $S_{\text{газ}} \gg S_{\text{ж}}$. Чем сложнее молекула газа, тем больше её энтропия. При $T=0$ $S=0$. При повышении

температуры начинаются колебания атомов и S растёт до $T_{\text{пл}}$. Далее следует фазовый переход и скачок энтропии $\Delta S_{\text{пл}}$. С повышением температуры S плавно и незначительно растёт до $T_{\text{исп}}$, где опять наблюдается резкий скачок $\Delta S_{\text{исп}}$ и опять плавное увеличение. Знак изменения энтропии часто можно предсказать, исходя из уравнения реакций. Уменьшение количества газовых молей означают уменьшение энтропии и наоборот. Переход графита в алмаз ведёт к понижению энтропии.

На **Рис. 4** показано изменение энтропии воды при ее нагревании. Видно, что с изменением агрегатного состояния энтропия изменяется скачком. Обратите внимание на относительную величину скачков при плавлении и испарении вещества.

Табл. . Энтропия некоторых веществ в различных агрегатных состояниях

Вещество	Энтропия, S_{298}° , Дж/(К · моль)		
	Крист.	Жидк.	Газ.
Алмаз	2,44		158,0
Графит	5,69		
Алюминий	28,3	37,8	164,4
Вода	43,9	66,9	188,7

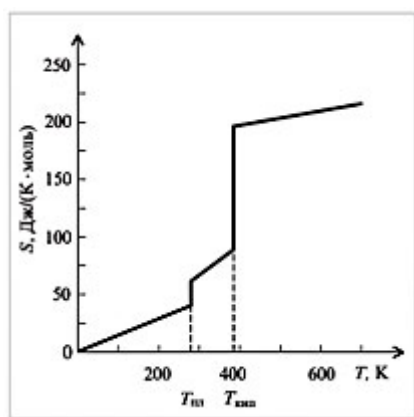


Рис. 10. Энтропия воды при разных температурах

4) Смешение идеальных газов при постоянных температуре и давлении.

Если n_1 молей одного газа, занимающего объем V_1 , смешиваются с n_2 молями другого газа, занимающего объем V_2 , то общий объем будет равен $V_1 + V_2$, причем газы расширяются независимо друг от друга и общее изменение энтропии равно сумме изменений энтропии каждого газа:

$$\Delta S = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + n_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2} = -(n_1 + n_2) R (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2) \quad (15)$$

где x_i - мольная доля i -го газа в полученной газовой смеси. Изменение энтропии (4.14) всегда положительно, т.к. все $\ln x_i < 0$, поэтому идеальные газы всегда смешиваются необратимо.

Если при тех же условиях смешиваются две порции одного и того же газа, то уравнение (15) уже неприменимо. Никаких изменений в системе при смешивании не происходит, и $\Delta S = 0$. Тем не менее, формула (15) не содержит никаких индивидуальных параметров газов, поэтому, казалось бы, должна быть применима и к смешению одинаковых газов. Это противоречие называют *парадоксом Гиббса*.

Знак изменения энтропии часто можно предсказать, исходя из уравнения реакций. Уменьшение количества газовых молей означают уменьшение энтропии и наоборот.

2.3 Абсолютная энтропия

Основываясь на трактовке понятия энтропии как меры беспорядка, М. Планк пришел к заключению, что в идеальном кристалле при абсолютном нуле энергии отдельных атомов одинаковы, и поэтому диффузионные процессы в нем невозможны. Следовательно, вероятность упорядоченного распределения атомов в таком кристалле равна единице, а энтропия - нулю. Этот вывод в термодинамике называется постулатом Планка. Важным практическим следствием этого постулата оказалась возможность определения абсолютных значений энтропии любых веществ, если предположить, что энтропия этих веществ при абсолютном нуле также приблизительно равна нулю. Не станем останавливаться на способе таких определений (они основаны на экспериментальных и квантово-статистических методах). Величина стандартной энтропии отражает свойства вещества в данном агрегатном состоянии — упорядоченность в строении молекул и их взаимодействие. Энтропия изменяется при изменении агрегатного состояния вещества (для газообразного вещества она больше, чем для жидкого, а для жидкого больше, чем для твердого). Но она также зависит от кристаллического строения вещества и от молекулярного веса (для веществ, близких по свойствам, увеличивается с его ростом).

Абсолютная энтропия (S) вещества или процесса - изменение **доступной энергии** при теплотепередаче при данной температуре (Дж/К). Математически энтропия равняется теплотепередаче, деленной на абсолютную температуру, при которой происходит процесс. Следовательно, процессы передачи большого количества теплоты больше увеличивают энтропию. Также изменения энтропии увеличатся при передаче теплоты при низкой температуре. Так как абсолютная энтропия касается пригодности всей энергии вселенной, температуру обычно измеряют в абсолютных единицах (R , K).

Удельную энтропию (S) измеряют относительно единицы массы вещества. Температурные единицы, которые используются при вычислении разницы между энтропиями состояний, часто выражаются в температурных единицах в градусах по Фаренгейту или Цельсию. Так как различия в градусах между шкалами Фаренгейта и Ренкина или Цельсия и Кельвина равны, решение в таких уравнениях будет правильным независимо от того, выражена энтропия в абсолютных или обычных единицах. У энтропии такая же данная температура, как и данная энтальпия определенного вещества.

Как уже было показано, доказательство Эйнштейном факта равенства нулю теплоемкостей всех веществ при 0К, постулаты Нернста и Планка привели к важному заключению: **энтропия чистого кристаллического вещества при температуре абсолютного нуля равна нулю**. Значение 3-его закона термодинамики состоит в том, что для одной из функций состояния - энтропии - может быть найдено её абсолютное значение, а не только приращение в каком-либо процессе. С точки зрения химии важно также, что постулатами Нернста можно пользоваться для расчёта химического сродства.

Замечание. Как показывают квантово-статистические расчеты энтропии на основе спектральных данных, далеко не всегда энтропия твердых веществ в непосредственной близости от 0К равна нулю. Это, прежде всего, относится к так называемым «замороженным» неравновесным состояниям полиморфных тел, стеклообразным системам. Во многих случаях небольшие отступления от постулата Планка наблюдаются и для чистых кристаллических тел, что однако несильно влияет на результаты расчетов. Вещества, энтропия которых при 0К строго равна нулю, называют «телами Нернста».

Таким образом, в отличие от многих других термодинамических функций, энтропия имеет точку отсчета, которая задается *постулатом Планка (третьим законом термодинамики)*:

При абсолютном нуле $T=0$ К все идеальные кристаллы имеют одинаковую энтропию, равную нулю.

При стремлении температуры к абсолютному нулю не только энтропия стремится к 0, но и её производные по всем термодинамическим параметрам:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{T \rightarrow 0} = 0 \quad (x = p, V). \quad (16)$$

Это означает, что вблизи абсолютного нуля все термодинамические процессы протекают без изменения энтропии. Это утверждение называют *тепловой теоремой Нернста*.

Постулат Планка позволяет ввести понятие *абсолютной энтропии* вещества, т.е. энтропии, отсчитанной от нулевого значения при $T = 0$. Для расчета абсолютной энтропии веществ в стандартном состоянии надо знать зависимости теплоемкости C_p от температуры для каждой из фаз, а также температуры и энтальпии фазовых переходов. Так, например, абсолютная энтропия газообразного вещества в стандартном состоянии при температуре T складывается из следующих составляющих:

$$S^0 = \int_0^{T_{пл}} \frac{C_{p(ж)} dT}{T} + \frac{\Delta H_{пл}^0}{T_{пл}} + \int_{T_{пл}}^{T_{кип}} \frac{C_{p(ж)} dT}{T} + \frac{\Delta H_{кип}^0}{T_{кип}} + \int_{T_{кип}}^T \frac{C_{p(г)} dT}{T} \quad (17)$$

Изменение энтропии плавления равно теплоте (энтальпии) плавления $\Delta S_{пл} = \Delta H_{пл} / T_{пл}$. Для химической реакции изменение энтропии аналогично изменению энтальпии

$$\Delta S_{реакции}^0 = \Delta S_{прод}^0 - \Delta S_{исх}^0$$

Здесь ΔS^0 соответствует энтропии стандартного состояния. Стандартные энтропии простых веществ не равны нулю.

Рассчитаем изменение энтропии некоторой системы при нагревании её от абсолютного нуля до температуры T при постоянном давлении. Из первого и второго начал термодинамики имеем:

$$\delta Q_p = C_p dT, \quad dS = \frac{\delta Q_p}{T} \quad (18)$$

Отсюда:

$$dS = C_p \frac{dT}{T} = C_p d \ln T \quad (19)$$

Учитывая, что $S_{T=0} = 0$, получим:

$$S_T = \int_0^T C_p d \ln T \quad (20)$$

Таким образом, 3-й закон позволяет определить абсолютное значение S при заданных значениях T и p , если известна теплоемкость. Примеры: При стандартных условиях (0.981 бар, 298⁰С): $S_{CO_2} = 51$, $S_{H_2O}^{(вода)} = 17$, $S_{C(графит)} = 1.4$, $S_{O_2} = 49$ (ккал/кмоль*град).

При $T = 0$ любое вещество может находиться только в твердом состоянии. При нагревании вещества возможен его переход в жидкое и затем в газообразное состояние; для фазовых переходов, происходящих в изобарно-изотермических условиях, изменение энтропии равно приведенной теплоте фазового перехода:

$$\Delta S_{\text{фп}} = \frac{\Delta H_{\text{фп}}}{T_{\text{фп}}} \quad (21)$$

Таким образом, нагревание вещества без фазовых переходов сопровождается непрерывным ростом энтропии; при фазовом переходе происходит скачкообразное изменение энтропии. Графическая зависимость энтропии вещества от температуры приведена на **Рис. 11**. Учитывая это, рассчитать абсолютную энтропию любого вещества при любой температуре можно следующим образом:

$$S_T = \int_0^{T_{\text{пл}}} C_{p, \text{тв}} d \ln T + \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} + \int_{T_{\text{пл}}}^{T_{\text{кип}}} C_{p, \text{ж}} d \ln T + \frac{\Delta H_{\text{кип}}}{T_{\text{кип}}} + \int_{T_{\text{кип}}}^T C_{p, \text{газ}} d \ln T \quad (22)$$

(Эта формула аналогична Ур. 17)

Поскольку энтропия есть функция состояния, изменение энтропии в ходе химического процесса определяется только видом и состоянием исходных веществ и продуктов реакции и не зависит от пути реакции; оно может быть рассчитано по уравнению (23):

$$\Delta S = \sum (\nu_i S_i)_{\text{прод}} - \sum (\nu_j S_j)_{\text{исх}} \quad (23)$$

Для многих веществ величины абсолютной энтропии в стандартных условиях приведены в справочной литературе. В термодинамических таблицах обычно приводят значения абсолютной энтропии в стандартном состоянии при температуре 298K.

Значения абсолютной энтропии веществ используют для расчета изменения энтропии в химических реакциях:

$$\Delta_r S^0 = \sum \nu_i S_i^0 - \sum \nu_j S_j^0 \quad (24)$$

Энтропии многих веществ вычислены или определены экспериментально и приведены в справочниках, что позволяет вычислять энтропии химических реакций как разность энтропий веществ-продуктов и веществ-реагентов. Например,

$$\begin{array}{ccccccc} 2\text{H}_2 & + & \text{O}_2 & = & 2\text{H}_2\text{O (ж.)} & + & 571,7 \text{ кДж,} \\ \text{Дж/(К} \cdot \text{моль)} & & & & & & \\ 2 \cdot 130,6 & & 205,1 & & 2 \cdot 69,9 & & \end{array}$$

$$\Delta S = \sum S_{\text{пр}} - \sum S_{\text{реаг}} =$$

$$= 2 \cdot 69,9 - (2 \cdot 130,6 + 205,1) = -326,5 \text{ Дж/К.}$$

То, что изменение энтропии в этой реакции отрицательно, т.е. энтропия уменьшается, можно утверждать и без расчёта. Действительно, в результате реакции произошло уменьшение количества вещества (из 3 моль образовалось 2 моль), и, кроме того, произошел переход из газообразного в жидкое состояние, что также ведет к уменьшению энтропии.

Энтропия вещества или системы тел при определенной температуре является абсолютной величиной. В **Табл. 2** приведены стандартные энтропии S° некоторых веществ.

Табл. 2. Стандартные энтропии некоторых веществ.

ΔS°_{298}

ΔS°_{298}

Соединение (Дж·моль⁻¹·К⁻¹) Соединение (Дж·моль⁻¹·К⁻¹)

С (т)алмаз 2,37	NO (г) 210
С (т)графит 5,74	NO ₂ (г) 240
H ₂ (г) 131	N ₂ O ₅ (г) 342
D ₂ (г) 145	H ₂ O (г) 189
O (г) 161	H ₂ O (ж) 70
O ₂ (г) 205	D ₂ O (ж) 79
O ₂ (ж) 84	CH ₄ (г) 186
O ₂ (т) 42	C ₂ H ₆ (г) 229
O ₃ (г) 237	н-С ₄ H ₁₀ (г) 310
	изо-С ₄ H ₁₀ (г) 294

Из **Табл. 4.1** следует, что энтропия зависит от:

- Агрегатного состояния вещества. Энтропия увеличивается при переходе от твердого к жидкому и особенно к газообразному состоянию (вода, лед, пар).

- Изотопного состава (H_2O и D_2O).
- Молекулярной массы одноподобных соединений (CH_4 , C_2H_6 , $n-C_4H_{10}$).
- Строения молекулы ($n-C_4H_{10}$, $изо-C_4H_{10}$).

- Кристаллической структуры (аллотропии) – алмаз, графит.

Рис. 11 иллюстрирует зависимость энтропии от температуры.

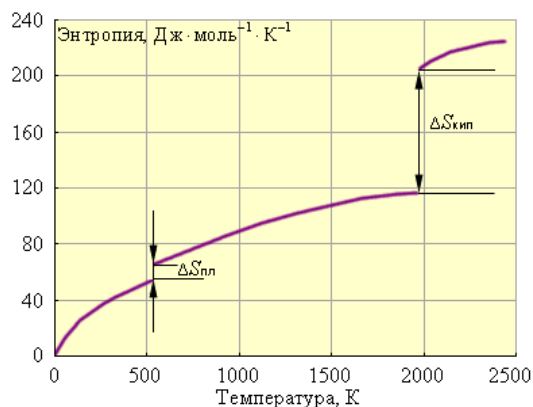


Рис. 11. Зависимость энтропии от температуры для свинца: $\Delta S_{пл} = 8 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $T_{пл} = 600,5 \text{ К}$; $\Delta S_{кип} = 88 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; $T_{кип} = 2013 \text{ К}$.

Приведём некоторые формулы, полезные для расчёта энтропии и её изменений.

Внутренняя энергия одного моля одноатомного идеального газа:

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT = \frac{3}{2} pV.$$

Работа газа при расширении (сжатии):

$$A = \sum p_i \Delta V_i; \quad A = p \Delta V \text{ при } p = \text{const.}$$

Первый закон термодинамики

$$\Delta U = Q - A; \quad Q = \Delta U + A.$$

Уравнение Пуассона для адиабаты:

$$pV^\gamma = \text{const}; \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Работа газа в адиабатическом процессе:

$$A = C_V(T_2 - T_1).$$

Формула Р.Майера:

$$C_p = C_v + R.$$

Молярная теплоёмкость при постоянном объёме:

$$C_v = \frac{3}{2} R - \text{одноатомный газ,}$$

$$C_v = \frac{5}{2} R - \text{двухатомный газ,}$$

$$C_v = 3R - \text{многоатомный газ.}$$

Молярная теплоёмкость твёрдого тела:

$$C = 3R$$

КПД теплового двигателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}.$$

КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно:

$$\eta = \eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Энтропия:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \sum_{(i)} \frac{\Delta Q_i}{T_i}.$$

Закон возрастания энтропии:

$$\Delta S \geq 0.$$

Формула Больцмана:

Тепловое расширение тел:

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T);$$

$$\langle m \rangle V = V_0(1 + \beta \Delta T); \beta \approx 3\alpha. \langle m \rangle$$

Остановимся чуть подробнее на экспериментальном измерении величины энтропии.

В реальных экспериментах очень трудно измерить энтропию системы. Техники измерения базируются на термодинамическом определении энтропии и требуют экстремально аккуратной калориметрии. Для упрощения мы будем исследовать механическую систему, термодинамические состояния которой будут определены через её объем V и давление P . Для измерения энтропии определенного состояния мы должны сперва измерить теплоёмкость при постоянных объёме и давлении (обозначенную C_V и C_P соответственно), для успешного набора состояний между первоначальным состоянием и требуемым. Тепловые ёмкости связаны с энтропией S и с температурой T согласно формуле:

$$C_x = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_x$$

где нижний индекс X относится к постоянным объёму и давлению. Мы можем проинтегрировать для получения изменения энтропии:

$$\Delta S = \int \frac{C_x}{T} dT$$

Таким образом, мы можем получить значение энтропии любого состояния (P, V) по отношению к первоначальному состоянию (P_0, V_0) . Точная формула зависит от нашего выбора промежуточных состояний. Для примера, если первоначальное состояние имеет такое же давление, как и конечное состояние, то

$$S(P, V) = S(P, V_0) + \int_{T(P, V_0)}^{T(P, V)} \frac{C_P(P, V(T, P))}{T} dT$$

В добавление, если путь между первым и последним состояниями лежит сквозь любой фазовый переход первого рода, скрытая теплота, ассоциированная с переходом, должна также учитываться. Энтропия первоначального состояния должна быть определена независимо. В идеальном варианте выбирается первоначальное состояние как состояние при экстремально высокой температуре, при которой система существует в виде газа. Энтропия в этом состоянии подобна энтропии классического идеального газа плюс взнос от молекулярных вращений и колебаний, которые могут быть определены спектроскопически.

Следующее уравнение может быть использовано для построения графика изменения энтропии на диаграмме P - V :

$$S = nR \ln \left(1 + P^{\frac{C_V}{R}} V^{\frac{C_P}{R}} \right)$$

Здесь два замечания: (1) это не определение энтропии (но выведено из него), (2) предполагается, что C_V и C_P постоянные, что на самом деле не так.

Абсолютную энтропию химического соединения определяют экспериментально, главным образом калориметрическим методом, исходя из соотношения:

$$S_T^0 = \int_{T=0K}^T \frac{C_p}{T} dT.$$

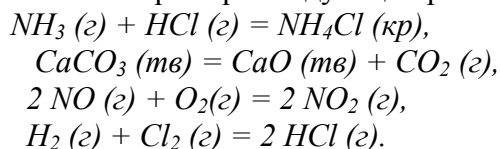
Использование второго начала позволяет определять энтропии химических реакций по экспериментальным данным (метод электродвижущих сил, метод давления пара и др.). Возможен расчет энтропии химических соединений методами статистической термодинамики, исходя из молекулярных постоянных, молекулярной массы, геометрии молекулы, частоты нормальных колебаний. Такой подход успешно осуществляется для идеальных газов. Для конденсирующихся фаз статистический расчет даёт значительно меньшую точность и проводится в ограниченном числе случаев. В таблицах энтропий индивидуальных веществ, как правило, для конденсирующихся фаз приводят результаты калориметрических измерений, для газообразных - статистического расчета.

Наиболее упорядоченным состоянием вещества является кристаллическое. «Идеальный кристалл при абсолютном нуле» (идеальное, полностью симметричное состояние, полное отсутствие движения частиц) характеризуется нулевым значением энтропии. Далее (по возрастанию степени неупорядоченности состояния) следует кристаллическое состояние при реальных температурах: частицы занимают определенные положения в узлах кристаллической решетки и совершают лишь колебательные движения относительно их центров (наличие ближнего и дальнего порядков). Следующий переход: кристалл – жидкость сопровождается новым скачком энтропии, степень неупорядоченности повышается. Жидкость отличается существенно большей степенью неупорядоченности, чем кристалл (наличие ближнего порядка и

отсутствие дальнего). Наиболее хаотичным является газообразное состояние вещества (каждая частица движется независимо от других), поэтому оно характеризуется наибольшими из рассматриваемых значениями энтропий. Поскольку изменения температуры влияют на интенсивность движения частиц, составляющих данное вещество, энтропия зависит от температуры: с повышением температуры она возрастает. По этой причине сравнение величин S для разных веществ корректно лишь в том случае, если они относятся к одним и тем же условиям.

Стандартной молярной энтропией (S_0) называют энтропию 1 моль вещества в его стандартном состоянии при стандартных условиях. Стандартная молярная энтропия имеет размерность Дж/моль*К. Стандартные молярные энтропии простых веществ не равны нулю, так как они не являются изменениями функции в процессе образования данного вещества, как это было с энтальпией образования, а представляют собой абсолютные значения. По величинам стандартных молярных энтропий химических соединений можно судить о некоторых особенностях их внутренней структуры. Так, стандартные молярные энтропии алмаза и графита (двух аллотропных модификаций простого вещества – углерода) имеют значения: 2.38 Дж/моль К и 5.74 Дж/моль К соответственно. Эти величины указывают на существенно более высокую степень упорядоченности внутреннего строения алмаза по сравнению с графитом. Действительно, внутренняя структура алмаза – образец высокоупорядоченной структуры: атомы углерода, связанные друг с другом прочными неполярными ординарными ковалентными связями, образуют высокосимметричную структуру (тетраэдр), в которой каждый атом связан с четырьмя соседними, и расстояния между ними равны. Эти особенности внутренней структуры алмаза проявляются и в его свойствах: высокой прочности, твердости, высоких температурах плавления и кипения. Внутренняя структура графита, напротив, отличается малой степенью упорядоченности: атомы углерода образуют друг с другом циклы, в которых чередуются ординарные и двойные С-С ковалентные связи. Структура графита имеет слоистую природу: полициклы располагаются слоями, связи между которыми осуществляются по механизму Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий (прочность их невысока). Следствием указанных особенностей внутренней структуры графита являются его свойства: относительная мягкость (позволяющая использовать его как твердый смазочный материал), низкие температуры плавления и кипения.

Относительные значения изменений энтропии (ΔS) позволяют характеризовать процессы, происходящие с веществом с точки зрения изменений упорядоченности его состояния, в том числе, и в химических реакциях. С другой стороны, анализ уравнения химической реакции с указанных позиций позволяет прогнозировать характер изменения энтропии в ходе химического превращения. Проведем подобные прогнозы на примере следующих реакций:



В первой реакции происходит превращение газообразных исходных веществ (аммиака и хлороводорода) в кристаллический продукт (хлорид аммония). При этом степень неупорядоченности состояния системы резко снижается (переход из более неупорядоченного газообразного состояния в менее неупорядоченное – кристаллическое), что должно сопровождаться уменьшением энтропии ($\Delta S < 0$). Вторая реакция характеризуется химическим превращением твердого карбоната кальция в твердый оксид кальция и газообразный диоксид углерода. Именно так в промышленности получают негашеную известь (CaO) путем обжига известняка (горная порода, содержащая $CaCO_3$) при высоких температурах. В этом случае степень неупорядоченности возрастает в ходе реакции (переход из менее неупорядоченного твердого состояния в более неупорядоченное газообразное состояние), что должно проявиться и в увеличении энтропии ($\Delta S > 0$). Третья и четвертая реакции не сопровождаются столь кардинальными изменениями внутренних структур, как первые две: и исходные, и конечные вещества – газы. Казалось бы, что степень неупорядоченности состояния в этом случае изменяться не должна. Однако в третьей реакции изменяется объем системы: из трех моль газов (2 моль NO + 1 моль O_2) образуются два (2 моль NO_2). Уменьшение объема системы вызовет и уменьшение неупорядоченности ее состояния и, как следствие, уменьшение энтропии ($\Delta S < 0$). И лишь в четвертой реакции, действительно, не следует ожидать изменений энтропии (ΔS близка к нулю), потому что объем газообразной системы постоянен: из двух моль газов (1 моль H_2 + 1 моль Cl_2) образуются два (2 моль HCl).

2.4 Примеры расчёта энтропии

1. Жесткий теплоизолированный сосуд объемом V разделён на две части с помощью перегородки. В начальный момент с одной стороны перегородки в объеме V_1 находится ν_1 молей идеального газа с теплоемкостью C_{V1} при температуре T_1 , а с другой стороны - в объёме $V_2 (V = V_1 + V_2)$ находится ν_2 молей

другого идеального газа с теплоемкостью C_{V2} при температуре T_2 . Перегородку медленно удаляют, что приводит к смешиванию газов и выравниванию их температуры. Определить изменение энтропии в этом процессе.

Решение: Так как сосуд является жестким и теплоизолированным, то можно считать, что суммарная внутренняя энергия системы не изменяется. Тогда установившуюся температуру можно найти из соотношения:

$$\Delta U = (v_1 C_{V1} + v_2 C_{V2})T - (v_1 C_{V1} T_1 + v_2 C_{V2} T_2) = 0$$

Отсюда имеем:

$$T = \frac{v_1 C_{V1} T_1 + v_2 C_{V2} T_2}{v_1 C_{V1} + v_2 C_{V2}}$$

Будем считать, что рассматриваемый процесс смешивания газов и выравнивания их температур является квазиравновесным. Тогда

$$dS = \frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = v_1 C_{V1} \frac{dT_1}{T_1} + v_1 R \frac{dV_1}{V_1} + v_2 C_{V2} \frac{dT_2}{T_2} + v_2 R \frac{dV_2}{V_2}$$

Интегрирование этого выражения дает:

$$\Delta S = v_1 C_{V1} \int_{T_1}^T \frac{dT_1}{T_1} + v_1 R \int_{V_1}^V \frac{dV_1}{V_1} + v_2 C_{V2} \int_{T_2}^T \frac{dT_2}{T_2} + v_2 R \int_{V_2}^V \frac{dV_2}{V_2}$$

или после вычисления интегралов имеем

$$\Delta S = v_1 C_{V1} \ln \frac{T}{T_1} + v_1 R \ln \frac{V}{V_1} + v_2 C_{V2} \ln \frac{T}{T_2} + v_2 R \ln \frac{V}{V_2}$$

В частном случае, если $v_1 = v_2 = 1$ и $C_{V1} = C_{V2} = C_V$ имеем:

$$\Delta S = C_V \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_1} + R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + C_V \ln \frac{T_1 + T_2}{2T_2} + R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}$$

Если $T_1 = T_2$ и $V_1 = V_2$, то $\Delta S = 2R \ln 2$.

Таким образом, при смешивании двух газов энтропия системы увеличивается как вследствие выравнивания их температуры, так и за счет их взаимного перемешивания. Оба эти процесса являются необратимыми, что и описывается возрастанием суммарной энтропии системы.

2. Термодинамическая система, состоящая из двух находящихся в тепловом контакте тел, помещена в адиабатическую оболочку. Теплоёмкости тел одинаковы и равны C . Температура первого тела в некоторый момент времени равна T_1 , а второго – T_2 , причем $T_2 > T_1$. Найти уравнение, описывающее изменение энтропии системы с течением времени при её стремлении к состоянию термодинамического равновесия. Считать, что передача теплоты от одного тела к другому описывается формулой: $\delta Q = \kappa(T_2 - T_1)dt$, где κ – коэффициент теплопередачи.

Решение: После достижения системой состояния термодинамического равновесия температура тел станет одинаковой: $T = (T_1 + T_2)/2$, её энтропия примет максимальное значение S_∞ .

Изменение энтропии системы при её переходе в равновесие можно определить по формуле

$$\Delta S = S_\infty - S = C \int_{T_1}^T \frac{dT_1}{T_1} + C \int_{T_2}^T \frac{dT_2}{T_2} = C \ln \left(\frac{T}{T_1} \right) + C \ln \left(\frac{T}{T_2} \right) = C \ln \left(\frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} \right)$$

Из этой формулы следует:

$$\exp \left(\frac{S_\infty - S}{C} \right) = \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} = \frac{(T_1 - T_2)^2}{4T_1 T_2} + 1$$

В соответствии со свойством аддитивности энтропии и формулой для изменения энтропии системы можно записать:

$$dS = dS_1 + dS_2 = \frac{\delta Q}{T_1} - \frac{\delta Q}{T_2} = \frac{\kappa(T_2 - T_1)}{T_1} dt - \frac{\kappa(T_2 - T_1)}{T_2} dt = \kappa \frac{(T_2 - T_1)^2}{T_1 T_2} dt$$

Здесь учтено, что теплота отводится от второго тела и подводится к первому. Тогда уравнение, описывающее изменение энтропии с течением времени при стремлении системы к состоянию термодинамического равновесия, примет окончательный вид:

$$\frac{dS}{dt} = 4\kappa \left(\exp \left(\frac{S_{\infty} - S}{C} \right) - 1 \right)$$

При $S < S_{\infty}$ правая часть этого уравнения больше нуля, что соответствует росту энтропии с течением времени: $dS/dt > 0$. При достижении энтропией системы S равновесного (максимального) значения S_{∞} , правая часть полученного уравнения становится равной нулю, и дальнейшего роста энтропии не происходит.

3. Определить зависимость энтропии от объема для термодинамической системы, которая описывается уравнением состояния (для одного моля)

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) \cdot (V - b) = RT$$

Решение.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{V - b}$$

Интегрируя это равенство, находим зависимость энтропии от объема:

$$S(V) = \int \frac{R}{V - b} dV = R \ln(V - b) + \text{const}$$

где const зависит от температуры.

4. Рассчитать изменение энтропии при нагревании 0.7 моль моноклинной серы от 25 до 200°C при давлении 1 атм. Мольная теплоемкость серы равна:

$$C_p(S_{\text{ТВ}}) = 23.64 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}, C_p(S_{\text{ж}}) = 35.73 + 1.17 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Температура плавления моноклинной серы 119 °C, удельная теплота плавления 45.2 Дж/г.

Решение. Общее изменение энтропии складывается из трех составляющих: 1) нагревание твердой серы от 25 до 119°C, 2) плавление, 3) нагревание жидкой серы от 119 до 200°C.

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_{\text{пл}}} \frac{C_{p(\text{тв})}}{T} dT = 0.7 \cdot 23.64 \cdot \ln \frac{392}{298} = 4.54 \text{ Дж/К}.$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} = \frac{0.7 \cdot 45.2 \cdot 32}{392} = 2.58 \text{ Дж/К}.$$

$$\Delta S_3 = \int_{T_{\text{пл}}}^{T_2} \frac{C_{p(\text{ж})}}{T} dT = 0.7 \cdot 1.17 \cdot 10^{-3} \cdot (473 - 392) + 0.7 \cdot 35.73 \cdot \ln \frac{473}{392} = 4.76 \text{ Дж/К}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 11.88 \text{ Дж/К. Ответ. } 11.88 \text{ Дж/К}.$$

5. Определить зависимость энтропии от объема для термодинамической системы, которая описывается уравнением состояния (для одного моля)

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) \cdot (V - b) = RT$$

Решение.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{V - b}$$

Интегрируя это равенство, находим зависимость энтропии от объема:

$$S(V) = \int \frac{R}{V - b} dV = R \ln(V - b) + \text{const}$$

где const зависит от температуры.

6. Рассчитать изменение энтропии при нагревании 0.7 моль моноклинной серы от 25 до 200°C при давлении 1 атм. Мольная теплоёмкость серы равна:

$$C_p(S_{\text{тв}}) = 23.64 \text{ Дж/}(\text{моль} \cdot \text{К}), C_p(S_{\text{ж}}) = 35.73 + 1.17 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ Дж/}(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Температура плавления моноклинной серы 119°C , удельная теплота плавления 45.2 Дж/г .

Решение. Общее изменение энтропии складывается из трех составляющих: 1) нагревание Твёрдой серы от 25 до 119°C , 2) плавление, 3) нагревание жидкой серы от 119 до 200°C .

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_{\text{пл}}} \frac{C_{p(\text{тв})}}{T} dT = 0.7 \cdot 23.64 \cdot \ln \frac{392}{298} = 4.54 \text{ Дж/К}.$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta H_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} = \frac{0.7 \cdot 45.2 \cdot 32}{392} = 2.58 \text{ Дж/К}.$$

$$\Delta S_3 = \int_{T_{\text{пл}}}^{T_2} \frac{C_{p(\text{ж})}}{T} dT = 0.7 \cdot 1.17 \cdot 10^{-3} \cdot (473 - 392) + \\ + 0.7 \cdot 35.73 \cdot \ln \frac{473}{392} = 4.76 \text{ Дж/К}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 11.88 \text{ Дж/К. Ответ. } 11.88 \text{ Дж/К}.$$

7. Увеличивается или уменьшается энтропия системы, если в ней происходит испарение воды?

Ответ. Если система открытая, то водяной пар покидает ее и энтропия оставшейся воды уменьшается, т.к. уменьшается ее количество. Если система закрытая и количество вещества в ней не меняется, то ее энтропия увеличивается, т.к. жидкая вода превращается в пар.

Второе начало термодинамики содержит два важных элемента: 1) «негативный», выражающий запрет на некоторые процессы, т. е. их невозможность (тепло может распространяться от горячего источника к холодному, но не от холодильника к нагревателю); 2) «положительный», конструктивный. Запрет на некоторые процессы позволяет ввести функцию (энтропию), монотонно возрастающую для изолированных систем. Энтропия - функция состояния термодинамической системы. Для процессов понятие абсолютной величины энтропии отсутствует. В термодинамике величиной энтропии измеряется степень рассеяния, т.е. перехода в тепловую энергию, любого другого вида *энергии*, содержащейся в системе. Любая термодинамическая изолированная от внешнего мира система стремится к выравниванию *температур* всех её частей, т.е. к максимальному возрастанию энтропии в ней. Следовательно, количество энергии для преобразования в работу или теплоту непрерывно уменьшается со временем, так как теплота спонтанно переходит из более теплой области к более холодной. Количество энергии остаётся постоянным, но её способность использования для того, чтобы проделать полезную работу, уменьшается при каждой теплопередаче и выполнении работы. Энтропия определяет сокращение доступной энергии вещества в результате передачи энергии Система, имевшая неравновесное тепловое состояние, переходит к равновесному, когда процессы теплопередачи прекращаются. В статистической физике энтропия трактуется как мера вероятности пребывания системы в данном состоянии. Чем больше беспорядка, тем больше энтропия. Любая система постепенно переходит к своему более вероятному состоянию. В процессе этого в ней увеличивается беспорядок, нарастает хаос, и увеличивается энтропия.

В данной лекции мы рассмотрим статистическую интерпретацию энтропии – так называемую энтропию Больцмана. Если Клаузиус рассматривал энтропию как меру обесценения энергии, то Больцман стал её интерпретировать как меру дезорганизации системы. Здесь мы будем оставаться в рамках равновесной термодинамики.

Как уже упоминалось, функция энтропии была введена в термодинамику Р. Клаузиусом, предложившим исчислять превращение энтропии по формуле:

$$dS = \frac{dQ}{T}, \quad (1)$$

где S – энтропия, Q – количество тепла, T – абсолютная температура.

При передаче тепла dQ от более разогретого тела с температурой T_1 к менее разогретому телу с температурой T_2 превращение энтропии dS равно:

$$dS = -\frac{dQ}{T_1} + \frac{dQ}{T_2} \quad (2)$$

Из формулы (2) с учетом условия $T_1 > T_2$ следует вывод :

$$dS > 0 \quad (3)$$

Поскольку во всех физических процессах тепло перетекает самопроизвольно от более разогретых к менее разогретым телам, условие (3) приобретает силу физического закона, получившего название второго начала термодинамики. Пока существует разность температур $T_1 - T_2$, часть теплового потока может быть преобразована в полезную (антиэнтропийную) энергию либо в естественно протекающих процессах (например, биологических), либо с помощью тепловых машин. При условии $T_1 = T_2$ энергия полностью утрачивает свои антиэнтропийные свойства. Этот вывод был положен в основу теории тепловой смерти Вселенной. Заметим, что сам термин «энтропия» был введен Клаузиусом, образовав его от корня греческого слова «тропе», означающего «превращение» с добавлением заимствованной из слова «энергия» приставки «эн-».

Предложенная Клаузиусом формула энтропии (1) не раскрывала внутренних механизмов процессов, приводящих к возрастанию энтропии. На примере идеального газа это сделал Л.Больцман.

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

В отличие от термодинамической энтропии Клаузиуса-Кельвина, зародившейся в рамках равновесной термодинамики, идеи статистической энтропии Больцмана-Планка возникли в недрах статистической физики (точнее, в её разделе – статистической термодинамике).

Статистическая термодинамика – раздел статистической физики, посвящённый обоснованию законов термодинамики равновесных процессов (на основе статистической механики Дж.У.Гиббса и вычислениями термодинамических характеристик физических систем (термодинамических потенциалов и др.), уравнения состояния на основе законов взаимодействия составляющих эти системы частиц. Неравновесная статистическая термодинамика даёт статистическое обоснование термодинамики неравновесных процессов (уравнений переноса энергии, импульса,

массы) и позволяет получить выражения для входящих в уравнения переноса коэффициентов (кинетических коэффициентов) на основе законов взаимодействия и движения частиц системы.

1.1 Статистическая физика

Статистическая физика – раздел физики, задача которого – выразить свойства макроскопических тел, т.е. систем, состоящих из очень большого числа одинаковых частиц (молекул, атомов, электронов и т.п.), через свойства этих частиц и взаимодействие между ними.

В статистической физике используются сведения о «микроскопическом» строении тел, поэтому статистическая физика является микроскопической теорией. В этом её отличие от других разделов физики, также изучающих макроскопические тела: термодинамики, механики и электродинамики сплошных сред. При решении конкретных задач методами этих дисциплин в соответствующие уравнения всегда входят неизвестные параметры или функции, характеризующие данное тело. Все эти зависимости и параметры можно определять экспериментально, поэтому методы, о которых идёт речь, называются феноменологическими. Статистическая физика позволяет вычислить эти величины.

Если в какой-то момент времени заданы координаты и скорости всех частиц тела и известен закон их взаимодействия, то из уравнений механики можно было бы найти координаты и скорости в любой последующий момент времени и тем самым полностью определить состояние тела. Такая же ситуация имеет место и в квантовой механике: зная начальную волновую функцию системы, можно, решая уравнение Шрёдингера, найти волновую функцию, определяющую состояние системы во все будущие моменты времени.

Реально такой путь построения микроскопической теории невозможен, т.к. число частиц в макроскопических телах очень велико, а начальные координаты и скорости молекул неизвестны. Однако именно большое число частиц в макроскопических телах приводит к появлению новых (статистических) закономерностей в поведении таких тел. Характеризующие макроскопические тела параметры испытывают с течением времени беспорядочные малые колебания (флуктуации) относительно некоторых средних значений. Задачей теории является вычисление этих средних значений, а не точных значений параметров в данный момент времени. Наличие статистических закономерностей выражается в том, что поведение средних значений не зависит от конкретных начальных условий (от точных значений начал координат и скоростей частиц). Важнейшее проявление этой закономерности – известный из опыта факт, что система, изолированная от внешних воздействий, с течением времени приходит в некоторое равновесное состояние (термодинамическое равновесие), свойства которого определяются только такими общими характеристиками начального состояния, как число частиц, их суммарная энергия и т.п. Процесс перехода системы в равновесное состояние называется релаксацией, а характерное время этого процесса – временем релаксации.

1.2 Функция распределения

Рассмотрим систему, состоящую из N частиц, для простоты считая, что частицы не имеют внутренних степеней свободы. Такая система описывается заданием $6N$ переменных: $3N$ координат x_i и $3N$ импульсов p_i частиц, совокупность этих переменных (p, x) . Понятие функции распределения естественно возникает, если рассмотреть пространство $6N$ измерений, соответствующее значениям координат и импульсов частиц; оно называется фазовым пространством. Каждому моменту времени t соответствуют определённые значения всех x и p , т.е. некоторая точка в фазовом пространстве, изображающая состояние системы в данный момент. С течением времени значения x и p , т.е. некоторая точка в фазовом пространстве, изображающая состояние системы в данный момент. С течением времени значения x и p меняются, так что точка в фазовом пространстве движется.

Среднее значение \bar{f} по заданному интервалу времени некоторой функции координат и импульсов $f(x, p)$ равно

$$\bar{f} = \int f(x, p) \omega(x, p) dx dp \quad (4)$$

(интегрирование по координатам производится по всему объёму системы, по импульсам – от $-\infty$ до ∞).

Функция $\omega(x, p)$ называется функцией распределения по координатам и импульсам частиц. Она удовлетворяет условию нормировки

$$\int \omega(x, p) dx dp = 1$$

$\omega dx dp$ – вероятность того, что система находится в элементе $dx dp$ фазового пространства.

Если система не находится в состоянии термодинамического равновесия, функция распределения зависит, кроме x и p , от времени t . В этом случае следует считать, что интеграл усреднения мал по сравнению с временем релаксации.

1.3 Распределение Гиббса

Распределения Гиббса – равновесные распределения вероятностей пребывания систем состоящих из большого числа частиц в состояниях, реализуемых в различных физических условиях. Распределения Гиббса – фундаментальные законы статистической физики установлены Дж.У.Гиббсоном в 1901 и обобщены Дж. Фон Нейманом в 1927 для квантовой статистической механики. Все распределения Гиббса соответствуют максимуму информационной энтропии при различных дополнительных условиях: микроканоническое распределение Гиббса – при постоянном числе частиц и энергии; каноническое распределение Гиббса – при постоянном числе частиц и заданной средней энергии; большое каноническое распределение Гиббса – при заданных средней энергии и среднем числе частиц. Все распределения Гиббса являются наиболее вероятными распределениями, но при различных условиях. Для вычисления термодинамических потенциалов все распределения Гиббса эквивалентны, т.е. если с помощью одного из распределений Гиббса вычислить соответствующий ему термодинамический потенциал, то затем при помощи термодинамических соотношений можно найти все другие термодинамические потенциалы, соответствующие другим ансамблям.

Большое каноническое распределение Гиббса – распределение вероятности состояний статистического ансамбля систем, которые находятся в тепловом и материальном равновесии со средой и могут обмениваться с ними энергией и частицами при постоянном объёме; соответствует большому каноническому ансамблю Гиббса

Рассуждения в предыдущем параграфе носили формальный характер, т.к. нахождение функции распределения требует знания всех x и p во все моменты времени, т.е. решения уравнений движения с соответствующими начальными условиями. Основным положением статистической физики является утверждение о возможности из общих соображений определить эту функцию для системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Прежде всего, исходя из сохранения числа частиц при движении, можно показать, что функция распределения является интегралом движения системы.

Гиббс Джозайя Вилард (1839 – 1908 г) - американский физик – теоретик. Образование получил в Йельском университете. С 1871 профессор математической физики того же университета, где работал до конца жизни.

При движении замкнутой системы её энергия не меняется, поэтому все точки в фазовом пространстве, изображающие состояние системы в разные моменты времени должны, должны лежать на некоторой гиперповерхности, соответствующей начальному значению энергии. Движение системы из многих частиц носит крайне запутанный характер, поэтому с течением времени точки, описывающие состояние распределяются по поверхности постоянной энергии равномерно. Такое равномерное распределение описывают функцией распределения, которая называется микроканоническим распределением Гиббса. Эта функция позволяет вычислять средние значения всех физических величин по формуле (0), не решая уравнений движения. Интегрирую микроканоническое распределение Гиббса, получим каноническое распределение Гиббса.

Отметим, что при использовании микроканонического распределения все средние значения оказываются выраженными через энергию тела, а при использовании канонического распределения – через температуру.

В квантовой механике, характерной особенностью которой является дискретность энергетического спектра системы конечного объёма, вероятность того, что подсистема находится в квантовом состоянии с энергией E_n , в термодинамическом равновесии определяется формулой

$$\exp\left(-\frac{F}{kT}\right) = Z = \sum_n \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right), \quad (5)$$

где F – свободная энергия тела.

Величина Z называется статистической суммой системы; сумма в выражении (5) берётся по всем состояниям системы. Энергетический спектр макроскопического тела фактически является очень густым, поэтому целесообразно в формуле (5) перейти от суммирования к интегрированию, введя плотность числа состояний $g(E)$, так что $g(E)dE$ есть число состояний в интервале энергий dE , тогда

$$Z = \int_0^{\infty} g(E) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dE. \quad (6)$$

Для системы, с достаточной точностью описывающейся классической механикой, в формуле (6) можно перейти от суммирования по состояниям к интегрированию по координатам и импульсам системы.

Если выбрать в качестве подсистемы определённый элемент объёма всей системы, через поверхность которого частицы могут покидать подсистему и возвращаться в неё, то вероятность

нахождения подсистемы в состоянии с энергией E_n и число частиц N_n определяется большим каноническим распределением Гиббса.

1.4 Статистическое истолкование термодинамики

Важный результат статистической физики – установление статистического смысла термодинамических величин. Это даёт возможность вывести законы термодинамики из основных представлений статистической физики и вычислять термодинамические величины для конкретных систем. Термодинамическая внутренняя энергия отождествляется со средней энергией системы. Первое начало термодинамики получает тогда истолкование как выражение закона сохранения энергии при движении составляющих тело частиц.

Формально суммирование по формуле (5) проводится по всем состояниям с энергией E_n , но фактически существенно лишь относительно небольшое их число с энергией вблизи средней энергии. Число $\Delta\bar{l}$ этих существенных состояний поэтому естественно определить, ограничив суммирование в формуле (5) интервалом $\Delta\bar{l}$, заменив E_n на среднюю энергию и вынося экспоненту из-под знака суммы. Тогда сумма даст $\Delta\bar{l}$ и формула (5) примет вид: $\exp[-(F - \bar{E})/kT] = \Delta\bar{l}$. С другой стороны, согласно термодинамике, $F = E - TS$, что даёт связь энтропии с числом микросостояний, иначе говоря, со статистическим весом макроскопического состояния, пропорциональным его вероятности

$$S = k \ln \Delta\bar{l}. \quad (7)$$

При температуре абсолютного нуля любая система находится в определённом (основном) состоянии, так что $\Delta\bar{l} = 1$, $S = 0$. Это утверждение выражает собой третье начало термодинамики. Здесь существенно, что для однозначного определения энтропии нужно пользоваться именно квантовой формулой; в чисто классической статистической физике энтропия определена только с точностью до произвольного слагаемого.

Смысл энтропии как меры вероятности состояния сохраняется и для неравновесных состояний. В этом случае формулу (7) следует рассматривать как общее определение энтропии состояния. Ясно, что в природе «самопроизвольно» (т.е. в замкнутой системе) могут идти лишь процессы, приводящие к увеличению вероятности состояния. Обратные процессы являются крайне маловероятными. (Энтропия системы пропорциональна числу частиц в ней, поэтому статистические веса двух физически достаточно близких состояний, будучи пропорциональны $\exp(-S/k)$, различаются очень сильно). Это даёт статистическое обоснование закону возрастания энтропии, согласно которому энтропия замкнутой системы может только увеличиваться. В состоянии равновесия энтропия имеет максимально возможное в данных внешних условиях значение. Следовательно, равновесное состояние является состоянием с максимальным статистическим весом, т.е. наиболее вероятным состоянием.

Из определения (7) следует, что энтропия аддитивна, т.е. энтропия тела, состоящего из слабовзаимодействующих частей, равна сумме энтропий этих частей. Это даёт возможность вычислить энтропию в важном случае, когда тело состоит из частей, которые находятся в равновесии сами по себе, но не друг с другом. Отметим, что формулы статистической физики, будучи справедливы для систем из большого числа частиц, подразумевают переход к термодинамическому пределу, когда число частиц в теле N и объём V стремятся к бесконечности, а плотность N/V остаётся конечной. Именно в этом пределе термодинамические потенциалы, определяемые распределением Гиббса, оказываются пропорциональными объёму.

2. ЭНТРОПИЯ БОЛЬЦМАНА

Как показано выше, формула, связывающая энтропию с числом микросостояний выводится из распределения Гиббса (1901), но вероятностная трактовка понятия энтропии была дана значительно Л.Больцманом (1844-1906), гораздо раньше (1878), хотя так называемое соотношение Больцмана было представлено М.Планком лишь в 1906 в первом издании лекций по теории теплового излучения.

2.1 Принцип Больцмана

Л.Больцман **вероятностную** трактовку понятия энтропии. Он показал, что энтропия системы может относиться к количеству возможных «микросостояний» (микроскопических состояний), согласующихся с их термодинамическими свойствами.

Макросостояние - состояние системы в целом. Его можно охарактеризовать такими параметрами, как, например, давление, температура, объём. Микросостояние – это состояние каждого объекта, входящего в состав данной системы, в отдельности. Каждому макросостоянию отвечает огромное число **микросостояний**. Для химических

систем, характеризующихся очень большим количеством объектов (1 моль соответствует $6.02 \cdot 10^{23}$ частиц), число микросостояний также очень велико и величина энтропии определяется относительной свободой их перемещения.

В случае идеального газа микросостояние определено как позиции, так и импульсы (моменты движения) каждого составляющего систему атома. Связность требует рассматривать только те микросостояния, для которых: (1) месторасположения всех частей расположены в рамках сосуда, (2) для получения общей энергии газа кинетические энергии атомов суммируются. Больцман предложил рассматривать энтропию как меру статистического беспорядка в замкнутой термодинамической системе. Все самопроизвольно протекающие процессы в замкнутой системе, приближающие систему к состоянию равновесия и сопровождающиеся ростом энтропии, направлены в сторону увеличения вероятности состояния. Всякое состояние макроскопической системы, содержащей большое число частиц, может быть реализовано многими способами. Термодинамическая вероятность W состояния системы – это число способов, которыми может быть реализовано данное состояние макроскопической системы, или число микросостояний, осуществляющих данное макросостояние. По определению термодинамическая вероятность $W \gg 1$. Например, если в сосуде находится 1 моль газа, то возможно огромное число N способов размещения молекулы по двум половинкам сосуда: $N = 2^{N_A}$ где N_A – число Авогадро. Каждый из них является микросостоянием. Только одно из микросостояний соответствует случаю, когда все молекулы соберутся в одной половинке (например, правой) сосуда. Вероятность такого события практически равна нулю. Наибольшее число микросостояний соответствует равновесному состоянию, при котором молекулы равномерно распределены по всему объёму. Поэтому равновесное состояние является наиболее вероятным. Равновесное состояние с другой стороны является состоянием наибольшего беспорядка в термодинамической системе и состоянием с максимальной энтропией.

Термодинамическая вероятность – число способов, которыми может быть реализовано состояние физической системы. В термодинамике состояние физической системы характеризуется определёнными значениями плотности, давления, температуры и др. измеримых величин. Перечисленные величины определяют состояние системы в целом (её макросостояние). Однако при одной и той же плотности, температуре и т.д. частицы системы могут различными способами распределиться в пространстве и иметь различные импульсы. Каждое данное распределение частиц называется микросостоянием системы. Термодинамическая вероятность (обозначается W) равна числу микросостояний, реализующих данное макросостояние, из чего следует, что $W \geq 1$. Термодинамическая вероятность не является вероятностью в математическом смысле. Она применяется в статистической физике для определения свойств систем, находящихся в термодинамическом равновесии (для них термодинамическая вероятность имеет максимальное значение). Для расчёта термодинамической вероятности существенно, считаются ли частицы системы различимыми или неразличимыми. Поэтому классическая и квантовая механика приводят к разным выражениям для термодинамической вероятности.

Энтропия S системы и термодинамическая вероятность W связаны между собой следующим образом:

$$S = k \ln W, \quad (7a)$$

Замечание. Уравнение (7) часто называют соотношением Больцмана. Оно даже написано на его надгробии. Юмор, однако, в том, что Больцман никогда этой формулы не выводил. Это сделал М. Планк в первом издании лекций по теории теплового излучения (1906). Поэтому эту формулу нельзя называть соотношением Больцмана и даже Больцмана-Планка. Это – уравнение Планка-Больцмана! Планку же принадлежит введение в эту формулу постоянной k , что сделало энтропию размерной. Сам Больцман говорил только о пропорциональности между энтропией и логарифмом вероятности состояния. Термин «принцип Больцмана» был введен Эйнштейном; он же использовал обращенную форму этого принципа: $W = e^{S/k}$. Важно также учитывать, что к атомистической теории Планк относился вполне отрицательно, т.к. принципу возрастания энтропии, как и принципу сохранения энергии, он приписывал применимость во всех без исключения случаях, в то время как, по Больцману, первый из этих принципов являлся только вероятностным законом, который как таковой допускает исключения.

Здесь энтропия S считается известной из эксперимента, а вероятность состояния W подлежит определению. Поэтому вторая часть второго начала термодинамики означает переход от искусственно созданного порядка к более вероятному беспорядку. В правую часть формулы (7a) следует ввести (особенно в случае неоднородных систем) постоянное слагаемое, т. е. величину, которая зависит лишь от числа молей в составных частях системы и не зависит от переменных, характеризующих её состояние. В общем случае формула (7) имеет вид

$$S = k \ln W + \text{const} \quad (7b)$$

2.2 Вывод формулы Планка-Больцмана

При выводе формулы (7) обычно предполагается априорная связь между энтропией и вероятностью, потому что эти две величины изменяются в одном направлении. Согласно принципу Клаузиуса, всякая изолированная система эволюционирует так, что её энтропия всегда возрастает, причём эта эволюция

направлена всегда к более вероятным состояниям. То есть в изолированной системе при самопроизвольном процессе вероятность последовательных состояний системы растёт вместе с энтропией этих состояний.

Тогда можно записать

$$S = f(W),$$

где W – вероятность, а f – некоторая возрастающая функция. Вид этой функции можно установить, если использовать свойства энтропии и вероятности. Энтропия системы равна сумме энтропий составляющих систему частей. Вероятность состояния системы равна произведению вероятностей состояния составляющих систему частей. Предположим, что число компонент системы равно двум. Тогда

$$S = S_1 + S_2,$$

$$W = W_1 \cdot W_2,$$

где индексы 1 и 2 соответствуют двум компонентам системы. Отсюда следует

$$f(W_1 \cdot W_2) = f(W_1) + f(W_2).$$

Продифференцируем последнее уравнение последовательно по W_1 и W_2 . Получим

$$W_2 \cdot f'(W_1 \cdot W_2) = f'(W_1),$$

$$f'(W_1 \cdot W_2) + W_1 \cdot W_2 f'(W_1 \cdot W_2) = 0.$$

Последнее выражение перепишем в виде

$$f'(W) + W \cdot f''(W) = 0.$$

Общее решение этого дифференциального уравнения имеет вид

$$f(W) = a \cdot \ln W + C,$$

где a и C – постоянные интегрирования. Отвлекаясь от постоянной C и, учитывая соотношение $f(W) = S$, получим формулу Больцмана

$$S = a \cdot \ln W. \quad (8)$$

Логарифм в этом выражении свидетельствует о том, что энтропия – величина аддитивная ($S_{1+2} = S_1 + S_2$), тогда как число комплексов W мультипликативно ($W_{1+2} = W_1 \cdot W_2$).

Энтропия системы в некотором состоянии пропорциональна логарифму вероятности этого состояния.

Мы привели современный вывод формулы Больцмана. Исторически всё было несколько иначе.

Больцман выводил свою формулу, на базе статистической физики.

В современных обозначениях он писал

$$S = a \cdot W \quad (9)$$

где a – некая константа, $W(N)$ – функция, зависящая от числа компонентов системы.

Из статистической физики следует, что:

$$W = \ln \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_m!} \quad (10)$$

где N – общее число молекул газа, находящегося в рассматриваемом объеме. N_i – число молекул, движущихся со скоростями, соответствующими i -ой ячейке условного пространства скоростей.

Замечание. Состояние системы можно охарактеризовать его вероятностью W . Например, N молекул могут расположиться в левой и правой половинах сосуда 2^N способами. Число размещений n молекул в левой и $N-n$ молекул в правой половинах равно

$$z = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

Максимум z достигается при $n = N/2$ – равномерном распределении. Вероятность нахождения n молекул в

левой части сосуда равна $W = \frac{N!}{n!(N-n)!2^N}$ – её максимум при $n = 0,5N$. Число способов распределения

молекул (состояния системы) называется **термодинамической вероятностью** $W \gg 1$. Максимальное значение термодинамическая вероятность достигает при равновесном состоянии. Энтропия также максимальна при равновесии.

Условие

$$i = 1, 2, \dots, m$$

означает, что все N молекул распределены по соответствующим ячейкам пространства скоростей, в количествах N_1, N_2, \dots, N_k , учитываемых уравнением (10). Согласно (10) перестановка молекул, находящихся внутри каждой из ячеек, не влияет на величину W . Отсюда следует, что подсчитанная по формуле (10) величина W соответствует числу возможных микросостояний системы (в частности газа), при котором макросостояние системы остаётся неизменным.

Если фазовое пространство разбито на M ячеек, то $W = \frac{(N + M - 1)!}{(N - 1)!M!}$

Таким образом, выведенная самим Больцманом формула имела вид:

$$S = a \cdot \ln \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_m!} \quad (11)$$

Дальнейшее – дело рук Макса Планка. Прежде всего Планк показал, что $a = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/градус = $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, назвал эту постоянную константой Больцмана, k_B или просто k , и утвердил размерность энтропии (в системе СИ - джоуль/градус). Оказалось, что фундаментальная мировая постоянная Больцмана $k = R/N_A$, где $R = 8,31$ Дж/(моль*К) - молярная газовая постоянная; $N_A = 6,06 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ - число Авогадро; W - статистический вес: число способов осуществления данного состояния. Далее Планк упростил формулу (11), придав ей канонический вид, в каковом она запечатлена на надгробии Больцмана и которая в литературе называется соотношением Больцмана.

М.Планк преобразовал формулу Больцмана

$$S = a \cdot [\ln N! - \ln(N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_k!)]$$

использовав для этого математическую формулу Стирлинга, справедливую для больших значений N :

$$\ln(N!) = N \ln N - N \quad (12)$$

Формула Стирлинга имеет вид $\ln n! \approx n(\ln n - 1)$, а в более грубом виде $\ln n! \approx n \ln n$. Основанием для такого огрубления служит тот факт, что относительная погрешность такой замены в соответствии с числом Лошмидта, $N_L = 2,687 \cdot 10^{19}$ 1/см³ выражающего количество молекул идеального газа, находящихся в 1 см³ при нормальных условиях, составляет: для 1 см³ – 2,3%, для 1 м³ – 1,7% и т.д. В то же самое время многие из реально существующих природных систем имеют несравненно большие размеры, что делает указанное огрубление оправданным.

Тогда

$$S = a \cdot [N \ln N - N - (\sum N_i \ln N_i - \sum N_i)]$$

С учетом условия $\sum_{i=1}^m N_i = N$, выражение для S приводится к виду:

$$S = a \cdot [N \ln N - \sum (N_i \ln N_i)] \quad (13)$$

Далее Планк ввел в рассмотрение вероятности различных состояний молекул, определив их как:

$$p_i = \frac{N_i}{N} \quad (14)$$

При этом второе слагаемое в правой части (1.8) можно представить как:

$$\sum (N_i \ln N_i) = \sum [p_i N (\ln p_i + \ln N)] = N \sum (p_i \ln p_i) + N \ln N \sum (p_i) \quad (15)$$

С учетом известного из теории вероятностей условия нормировки $\sum p_i = 1$, подстановка (15) в (13) приводит выражение для S к окончательному виду:

$$S = -a \sum_{i=1}^k p_i \ln p_i \quad (16)$$

Что представляет собой несколько иную запись соотношения Больцмана.

Проделанные Планком с помощью формулы Стирлинга чисто формальные преобразования не только позволили получить новое выражение для исчисления энтропии, но помогли более глубоко осознать смысл вычисляемой величины H . Выражение (16) позволяет сделать два важных вывода:

1. Введение в формулу энтропии значений вероятностей расширило рамки применимости этой формулы далеко за пределы исследуемых термодинамикой молекулярных систем. Символ p_i может обозначать вероятность не только тех или иных состояний молекул, но и различных состояний элементов любых систем (в частности, вероятностей появления букв текста или других символов передаваемых сообщений).

2. Выражение (16) соответствует полной энтропии системы. Поделив подсчитанную по формуле (11) величину на N_i , можно определить усредненную величину энтропии S , относящуюся к одному элементу рассматриваемой системы, т.е. (13).

Забегая вперед, отметим, что именно в таком виде использовал функцию энтропии Шеннон для определения среднего значения энтропии одной буквы текста (опустив знак усреднения, и заменив по дороге натуральный логарифм на двоичный).

Таким образом, энтропия

$$S = \frac{A}{T} = \frac{\Delta Q}{T} = k \ln W,$$

где A - работа при изотермическом процессе.

При абсолютном нуле температуры $T=0$ состоянию термодинамической системы соответствует минимальный беспорядок - состояние системы наиболее достоверно, его вероятность $W=1$, т.е. энтропия системы равна нулю:

$$S = k \ln 1 = 0 - \text{тепловая теорема Нернста.}$$

В соотношение Больцмана входят два параметра: W и a (впоследствии покажем, что $a=k$). Сначала уточним понятие термодинамической вероятности W .

2.3 Термодинамическая вероятность

Рассмотрим идеальный газ, имеющий N молекул и находящийся в состоянии, которое характеризуется с давлением P и объёмом V . Но знание макроскопического состояния ничего не говорит о положении и скорости каждой молекулы. Это означает, что данное макроскопическое состояние может быть реализовано очень большим числом различных микросостояний. Состояние каждой из N молекул определяется 6-ю параметрами: положение – значениями трёх её координат, скорость – тремя её составляющими по направлению трёх осей координат. Гипотеза молекулярного хаоса или элементарного беспорядка требует независимости параметров каждой молекулы от параметров других молекул. Микроскопическое состояние рассматриваемого газа в данный момент времени определяет совокупность $6N$ параметров. Однако макроскопическое состояние газа зависит от значительно меньшего числа параметров. Это состояние зависит от кинетической энергии молекул, а не от направления их скоростей, и с другой стороны из-за одинаковости молекул перестановка их кинетических энергий не меняет макроскопического состояния газа.

Данное макроскопическое состояние может быть реализовано некоторым числом микросостояний. Микросостояние означает некоторое распределение, где каждая различимая (по Больцману) молекула имеет данную кинетическую энергию и все микросостояния, согласно гипотезе, равновероятны. Ясно, что из двух состояний то, которое может быть реализовано с помощью большего числа микросостояний, имеет большую вероятность. **Термодинамическая вероятность состояния W выражается числом микросостояний, позволяющих реализовать это состояние.** Величину W иногда называют статистическим весом или просто вероятностью состояния.

Термодинамическая вероятность (число состояний системы) и вероятность математическая - взаимно обратные величины: $W=1/w$.

Статистический вес состояния, W , – термодинамическая вероятность, выражающая число микросостояний, посредством которых может быть реализовано данное макросостояние какой-либо термодинамической системы, например, состояние с заданной полной энергией, т.е. W - количество перестановок молекул идеального газа, не влияющее на макросостояние системы. Так как W может быть только натуральным числом (1, 2, 3, ...), то энтропия Больцмана должна быть неотрицательной - исходя из свойств логарифма. С увеличением W - числа способов, которым может быть реализовано данное состояние вещества, – возрастает энтропия S . Стремление системы к беспорядку проявляется тем больше, чем выше температура. Произведение изменения энтропии системы на температуру $T\Delta S$ количественно оценивает эту тенденцию и называется энтропийным фактором. Размерность энтропии определяется размерностью константы Больцмана. Для вещества величина энтропии обычно дается в расчете на 1 моль, тогда её размерность Дж/(К•моль).

Вероятность W является однозначной функцией состояния системы, достигает своего максимального значения, когда система приходит в термодинамическое равновесие и обладает свойством мультипликативности, то есть W системы, состоящий из N невзаимодействующих между собой частей, равна произведению вероятностей этих частей:

$$W = W_1 W_2 \dots W_N = \prod_{i=1}^N W_i \quad (17)$$

Энтропия Больцмана является аддитивной величиной или, иначе говоря, энтропия S системы, состоящей из невзаимодействующих частей равна сумме энтропий этих частей:

$$S = k \ln W = k \ln \prod_{i=1}^N W_i = k \sum_{i=1}^N \ln W_i = \sum_{i=1}^N S_i \quad (18)$$

Итак, энтропия связана с вероятностью. Можно создать искусственно замкнутую изолированную систему с очень маловероятной структурой. Если предоставить эту систему самой себе, то она будет эволюционировать в сторону более вероятной структуры. Вероятность имеет естественную тенденцию к возрастанию, как и энтропия.

Величина W даёт ответ на вопрос: сколькими способами можно произвести перестройки внутри системы, так, чтобы внешний наблюдатель не заметил её. В формулировке вопроса учтено то существенное, что характеризует переход от мира атомов к макроскопической системе, а именно слепота внешнего наблюдателя по отношению к индивидуальностям атомов, образующих систему. Термодинамика имеет дело только с усредненным поведением огромных совокупностей атомов, причем поведение каждого отдельного атома не играет роли. Если внешний наблюдатель, изучающий термодинамику, не заметил, что в системе произошло изменение, то состояние системы считается неизменным.

Допустим, что имеется одна изолированная вселенная, состоящая из двух систем, таких, что все атомы первой из них находятся в возбуждённом состоянии, а все атомы второй - в невозбуждённом. Так как все атомы первой системы возбуждены, то возбуждение не может переноситься внутри данной системы, и существует только одно возможное распределение этих атомов, следовательно, $W=1$. Согласно формуле Больцмана, энтропия такой системы равна нулю, и такой локализованный «сгусток» энергии обладает идеальным качеством. Но наступит момент, когда возбуждение с какого-нибудь одного атома системы 1 перенесётся на какой-либо атом системы 2. После этого возбуждения в первой системе могут быть распределены по атомам многими различными способами, и хотя внешний наблюдатель ничего этого не замечает, значение величины W намного увеличилось: оно равняется числу различных способов выбора одного невозбуждённого атома в системе 1. Соответственно энтропия этой системы тоже возросла, система стала более хаотической, поскольку мы не знаем, где именно находится единственный невозбуждённый атом. Энтропия системы 2 тоже возрастает. Первоначально она была тоже равна нулю, так как в ней вообще не было возбуждённых атомов и существовало их единственное расположение в системе 1. Когда же в неё перенеслось одно возбуждённое состояние из системы 1, и один атом в системе 2 стал возбуждённым, то появилось огромное число возможностей выбора положений этого атома в данной системе, и энтропия её увеличилась. При дальнейшем прослеживании изменения начального состояния этих систем, можно прийти к выводу, что максимум энтропии данной системы достигается тогда, когда отношение числа возбуждённых атомов к числу невозбуждённых в первой системе равно аналогичному отношению во второй системе, то есть когда температуры обеих систем стали равны. Охлаждение температуры до теплового равновесия соответствует возрастанию её энтропии до максимального значения.

Тепловое равновесие - это пример динамического равновесия, в основе которого лежит беспрестанное движение, и внешне воспринимаемое спокойствие - не более чем иллюзия. Существует важная особенность динамического равновесия. Тепловое равновесие соответствует максимуму энтропии вселенной. Оно также соответствует некоторому термодинамическому состоянию систем, которое может быть достигнуто максимальным числом способов. Если представить вселенную, в которой возбуждённые атомы могут распределяться по системам различными способами, то при этом различные распределения могут соответствовать разным термодинамическим состояниям, и вообще, каждому термодинамическому состоянию будет соответствовать много различных распределений атомов. Поэтому любому термодинамическому состоянию можно приписать вероятность, связанную с числом различных способов, которыми оно может быть достигнуто на микроуровне. При этом, чем больше способов, которыми может быть достигнуто данное состояние, тем выше его вероятность. Если число способов, которыми может быть достигнуто данное состояние велико, то возбуждённые атомы с большей вероятностью создадут ту конфигурацию, которое ему соответствует. Однородное распределение атомов, которое можно определить как состояние, достигаемое максимальным числом способов, является наиболее вероятным состоянием вселенной. Иными словами, тепловое равновесие соответствует наиболее вероятному состоянию вселенной.

Все естественные процессы должны сопровождаться рассеянием энергии, что означает распространение энергии, как путём перемещения носителя энергии, так и путем её перехода от одного носителя к другому. Рассеяние энергии означает также утрату упорядоченности в движении носителей энергии и увеличение энтропии. Возрастание энтропии означает переход системы из менее вероятного состояния в более вероятное. По существу все процессы в мире сводятся к проявлениям всеобщего рассеяния энергии, что ведет к хаосу. Но спад к всеобщему хаосу не монотонен - в некоторой локальной области он может уменьшаться, но это происходит за счет возникновения еще большего хаоса где-то в другом месте.

Ведение понятия термодинамической вероятности позволило разъяснить смысл соотношения Больцмана.

В условиях равновесия энтропия - функция состояния системы, которую можно измерить или вычислить теоретически. Но стоит изолированной системе отклониться от равновесия - возникает свойство энтропии - она только возрастает.

Представим соотношение Больцмана в виде

$$p = e^{S/k}$$

и обратим внимание на то, что статистический вес состояния системы p экспоненциально растёт с ростом S . Иными словами, менее упорядоченное состояние (большой хаос) имеет больший статистический вес, т. к. оно может быть реализовано большим числом способов. Следовательно, энтропия - мера неупорядоченности системы.

Из-за случайных переключиваний растёт беспорядок на столе, в комнате. Порядок создается искусственно, беспорядок - самопроизвольно, т. к. ему отвечает большая вероятность, большая энтропия. Разумная деятельность человека направлена на преодоление разупорядоченности. Важно, что если первое начало термодинамики (закон сохранения энергии) - закон абсолютно строгий, это детерминированный закон, то второе начало термодинамики - закон возрастания энтропии - закон статистический (вероятностный).

Существует определённая вероятность того, что молекулы, находящиеся в кубике размером 1 см^3 могут все собраться в одной половине этого кубика. Вероятность для одной молекулы находиться в правой части кубика: $q_1=1/2$. При нормальных условиях в 1 см^3 содержится число молекул $2,7 \cdot 10^{19}$ (число Лошмидта), тогда вероятность того, что все молекулы соберутся в правую половину кубика равна $(0.5)^{2,7 \cdot 10^{19}}$. Это исчезающе малая величина.

Работа Больцмана оказалась прорывом в совершенно новую область: в физику вошла вероятность, статистические законы. Это значит, что хотя и редко, но энтропия может и убывать.

2.4 Константа Больцмана

Рассмотрим идеальный газ, содержащий 2 моля, т. е. $2N_A$ молекул, в сосуде объёма $2V$. Мысленно разделим сосуд на две равные части A и B . Перегородок в сосуде нет. Рассмотрим только положения молекул, т.е. их распределение между этими частями сосуда. Молекулы все одинаковы и каждое распределение определяется числом молекул n , находящихся в части A . Число молекул в части B равно тогда $2N-n$. Опустим для простоты записей индекс « A », обозначающий число Авогадро. Состояние, определяемое числом молекул n в части A , может быть реализовано с помощью микросостояний, число которых определяется числом сочетаний из $2N$ молекул по n

$$W = C_{2N}^n = \frac{(2N)!}{(2N-n)!n!} \quad (19)$$

Значение W максимально при $N = n$, т.е. при равномерном распределении газа между частями A и B . Такое распределение наиболее вероятно. Число микросостояний, позволяющих его реализовать, равно

$$W = C_{2N}^n = \frac{(2N)!}{(N!)^2} \quad (20)$$

Следовательно, всякое распределение, в котором число n отлично от N будет стремиться к такому распределению, когда $n = N$.

Возьмём в качестве начального состояния очень маловероятное, когда все молекулы сосредоточены в части A сосуда. Получим для такого состояния $W_1 = 1$. Конечное, наиболее вероятное состояние, как показано выше, имеет вероятность $W_2 = \frac{(2N)!}{(N!)^2}$

Подставляя эти два значения термодинамической вероятности в (18), получим

$$S_1 - S_2 = a(\ln W_2 - \ln W_1) = a \left(\ln \frac{(2N)!}{(N!)^2} - \ln 1 \right) \quad (21)$$

Используя приближённую формулу Стирлинга при больших N [$\ln(N!) = N(\ln N - 1)$], находим

$$S_2 - S_1 = a[\ln(2N)! - 2\ln(N!)] = 2aN \ln 2. \quad (22)$$

В то же время при изотермическом процессе расширения двух молей идеального газа от объёма V к объёму $2V$ изменение энтропии равно

$$S_2 - S_1 = 2R \ln 2. \quad (23)$$

Приравнявая эти два изменения энтропии и учитывая, что $N = N_A$, получим

$$a = \frac{R}{N_A} = k, \quad (24)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К есть постоянная Больцмана. Подставляя это значение a в (22) получаем

$$S = k \cdot \ln W. \quad (25)$$

Энтропия, соответствующая данному состоянию, равна произведению постоянной Больцмана на натуральный логарифм термодинамической вероятности этого состояния.

Константа Больцмана (k или k_B) - физическая постоянная, определяющая связь между температурой и энергией. Она играет ключевую роль в статистической механике. В системе СИ $k=R/N_A=1,38\cdot 10^{-23}$ Дж/К = $1,38\cdot 10^{-16}$ эрг/град – постоянная Больцмана ($k=1,3806505(24)\cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹), $k= 3,31\cdot 10^{-24}$ эе (эе - энтропийная единица, 1 эе = 1 кал/град). В принципе, постоянная Больцмана может быть получена из определения абсолютной температуры и других физических постоянных. Однако, вычисление постоянной Больцмана с помощью основных принципов слишком сложно и невыполнимо при современном уровне знаний. В естественной системе единиц Планка естественная единица температуры задается так, что постоянная Больцмана равна единице. Универсальная газовая постоянная определяется как произведение постоянной Больцмана на число Авогадро, $R=kN_A$. Газовая постоянная более удобна, когда число частиц задано в молях. В однородном идеальном газе, находящемся при абсолютной температуре T , энергия, приходящаяся на каждую степень свободы, равна $kT/2$. При комнатной температуре (300К) эта энергия составляет $2,07\cdot 10^{-21}$ Дж, или 0.013 эВ. В одноатомном идеальном газе каждый атом обладает тремя степенями свободы, соответствующими трём пространственным осям, что означает, что на каждый атом приходится энергия в $3/2kT$.

Замечание. В различных разделах информатики используются разные значения константы k . Так если $k=1$, то энтропия измеряется в натах, если $k=1/\ln 2$, то энтропия измеряется в битах. В случае макроскопической термодинамики имеем физическую шкалу $k=1,38\cdot 10^{-23}$ Дж/град.

2.5 Флуктуации

Рассмотрим один простой пример применения понятия вероятности в физике. Предположим, что ансамбль из N частиц находится в ящике, разделенном на два равных отделения. Требуется найти вероятность различных распределений частиц между отделениями, т. е. найти вероятность обнаружить N_1 частиц в первом отделении (и $N_2=N - N_1$ частиц во втором).

Комбинаторный анализ позволяет легко сосчитать число способов, которыми получается каждое из различных распределений N частиц. Например, при $N = 8$ поместить восемь частиц в одну половину ящика можно лишь одним способом. Но если предположить, как это делается в классической физике, что все частицы различимы, то поместить одну частицу в одном отделении, а остальные семь - в другом отделении ящика можно восемью различными способами. Распределить восемь частиц поровну между двумя половинами ящика можно $8!/4=70$ различными способами. Аналогичным образом при любом N можно указать число W способов, которыми можно получить любое заданное распределение $\{N_1, N_2\}$, или, как принято говорить в физике, *комплексов*. Оно определяется выражением $W=N!/N_1N_2!$. Чем больше число комплексов в любом ансамбле частиц, тем меньше отличаются между собой числа N_1 и N_2 . Число комплексов максимально, когда частицы поровну распределены между двумя отделениями ящика. Кроме того, чем больше N , тем больше отличаются между собой числа комплексов, соответствующие различным распределениям. При значениях N порядка 10^{23} , достижимых в макроскопических системах, подавляющее большинство распределений соответствует случаю $N_1=N_2=N/2$. Следовательно, для систем, состоящих из большого числа частиц, все состояния, отличающиеся от состояния, которое соответствует равномерному распределению, маловероятны.

В состоянии равновесия происходит в системе выравнивание температур T , плотностей ρ и $S \rightarrow S_{max}$, т. е. система находится в состоянии максимально возможной неоднородности. Однако возможны отклонения от наиболее вероятного значения температуры ΔT , сгущения и разряжения газа ($\Delta \rho$). Эти отклонения называются флуктуациями. Они тем менее вероятны, чем больше число молекул. Рассчитаем распределение по двум ящикам для 2; 4; 6; ... ; 12 молекул (Табл. 1).

Табл. 1. Распределение молекул по двум ящикам и статистический вес.

N молекул					
2	4	6	8	10	12
2/0 1	4/0 1	6/0 1	8/0 1	10/0 1	12/0 1
1/1 2	3/1 4	5/1 6	7/1 8	9/1 10	11/1 12
0/2 1	2/2 6	4/2 15	6/2 28	8/2 45	10/2 66

	1/3 4	3/3 20	5/3 56	7/3 120	9/3 220
	0/4 1	2/4 15	4/4 70	6/4 210	8/4 495
		1/5 6	3/5 56	5/5 252	7/5 792
		0/6 1	2/6 28	4/6 210	6/6 924
			1/7 8	3/7 120	5/7 792
			0/8 1	2/8 45	4/8 495
				1/9 10	3/9 220
				0/10 1	2/10 66
					1/11 12
					0/12 1

Из таблицы видно, как меняется характер распределения при увеличении числа частиц N : чем больше N , тем острее распределение, т. е. тем меньше вероятность крайних распределений. При $N=2$, статистический вес состояния, при котором все молекулы собрались, например, в левом ящике всего в два раза меньше состояния с равномерным распределением. При $N=12$ это соотношение уже не 1:2, а 1:924. Итак, вероятность заметного отклонения от наиболее вероятного состояния убывает с ростом N . Эти отклонения и есть флуктуации.

При большом числе молекул число способов их равномерного распределения по двум ящикам равно

$$p = \frac{N!}{\left(\frac{N}{2}\right)! \left(\frac{N}{2}\right)!} \quad (26)$$

На всякий случай дадим вывод приведённых здесь формул для расчёта распределения N молекул по двум ящикам.

Напомним некоторые положения теории вероятности.

а) При бросании кости, на 6 гранях которой нарисованы кружки от 1 до 6, выпадает какая-то одна грань. Выпадение, например, трех очков происходит с вероятностью $W=1/6$. Сумма вероятностей всех возможных событий равна единице. В процессе бросания кости статистический вес состояния системы p , или число способов осуществления данного состояния равно 6. Сравнивая параметры W и p , находим связь между ними

$$p = 1/W.$$

б). Если бросаем две кости, то число различных возможностей равно произведению $6*6=36$. Вероятность выпадения тройки на первой кости и четверки на второй равно произведению двух вероятностей (это независимые события), т. е. $W_1*W_2=(1/6)*(1/6)=1/36$. В этом случае числа p для независимых событий также перемножаются, т. е.

$$p = p_1 * p_2.$$

Энтропия такой системы равна сумме энтропий

$$S = k \ln p = k \ln(p_1 * p_2) = k (\ln p_1 + \ln p_2) = S_1 + S_2.$$

Получим формулу для распределения N молекул по M ящикам методом математической индукции. Для этого сначала рассмотрим возможные распределения четырех молекул по двум ящикам.

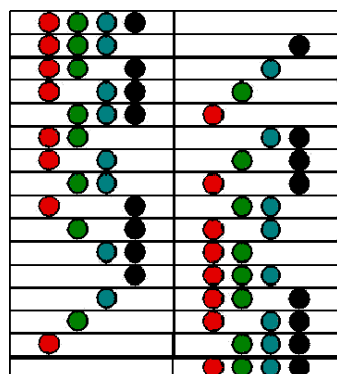


Рис 1. Состояния четырех частиц в двух ящиках

Из Рис. 1 нетрудно видеть, что возможны следующие 5 состояний системы: 4/0; 3/1; 2/2; 1/3; 0/4, где в числителе - число молекул в первом ящике, а в знаменателе - во втором. Но число способов реализации этих состояний различно: 1; 4; 6; 4; 1. Можно заметить, что эти числа являются биномиальными коэффициентами бинома Ньютона

$$(a + b)^n = a_n + C_n^0 + C_n^1 a^{n-1} b + C_n^2 a^{n-2} b^2 + \dots + C_n^n b^n, \quad C_n^m = \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Если N молекул распределены по двум ящикам, то

$$C_n^m = p = \frac{N!}{N_1! N_2!} = \frac{N!}{N_1! (N - N_1)!} \quad (27)$$

где N_1 и $N_2=N-N_1$ - число молекул в первом и втором ящиках, $N!=1\cdot2\cdot3\cdot\ldots\cdot N$ - факториал числа N .

Рассмотрим смысл формулы (27): $N!$ - полное число перестановок всех молекул, включающее и перестановки внутри каждого из ящиков, не дающие новых ситуаций. Чтобы исключить такие перестановки, делим $N!$ на число перестановок внутри ящиков $N_1!$ и $N_2!$ и получаем формулу (27).

Общая формула статистического веса имеет вид:

$$p = \frac{N!}{N_1!N_2!\ldots N_M!} \quad (28)$$

2.6 Экспериментальная проверка принципа Больцмана

Основываясь на статистическом поведении составляющих систему компонентов удаётся описать её термодинамическое поведение. Выявилась связь микроскопических свойств системы (W) с одним из её термодинамических свойств (S), причём энтропия – функция состояния. Оказалось, что энтропия определяется логарифмом числа микросостояний, с помощью которых может быть реализовано данное макросостояние. Следовательно, энтропия может рассматриваться как мера вероятности состояния термодинамической системы. Вероятностная трактовка второго закона термодинамики допускает самопроизвольное отклонение системы от состояния термодинамического равновесия. Такие отклонения называются **флуктуациями**. В системах, содержащих большое число частиц, значительные отклонения от состояния равновесия имеют чрезвычайно малую вероятность.

Энтропия – функция, ответственная за неупорядоченность состояния данной химической системы: чем большей хаотичностью и беспорядком (т.е. большей неупорядоченностью) характеризуется данная система, тем больше величина энтропии.

Замечание. Энтропия характеризует скорее не степень «беспорядка», как принято считать, а степень «перемешанности» частиц.

Второе начало термодинамики заключается в утверждении о том, что все самопроизвольно протекающие процессы сопровождаются увеличением суммарной энтропии системы и ее окружения. Иными словами, в любой изолированной системе с течением времени происходит возрастание степени беспорядка (энтропии). Именно энтропия указывает направление самопроизвольно протекающих процессов. Рост энтропии указывает на приближение системы к состоянию термодинамического равновесия. В состоянии равновесия энтропия принимает максимальное значение.

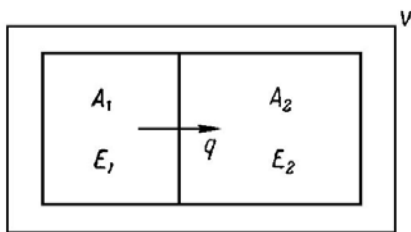


Рис. 2. Два тела A_1 и A_2 с энергиями E_1 и E_2 соответственно соприкасаются. Они могут обмениваться только теплом. Система A_1A_2 заключена в изолирующий контейнер V .

В качестве примера рассмотрим два тела, A_1 и A_2 , соприкасающихся так, что они могут обмениваться только теплом. Система A_1A_2 помещена в изолирующий контейнер V , как показано на

Рис. 2. При этих условиях полная энергия

$$E_1 + E_2 = E \quad (29)$$

системы в целом остается постоянной, но мы должны рассмотреть возможность передачи q калорий от A_1 к A_2 :

$$\Delta E_1 = -q, \Delta E_2 = +q. \quad (30)$$

Найдем наиболее вероятное распределение энергии между A_1 и A_2 . Для A_1 статистический вес W_1 есть функция E_1 , для A_2 статистический вес W_2 есть функция E_2 . Статистический вес сложной системы равен

$$W = W_1(E_1)W_2(E_2). \quad (31)$$

так как каждое микросостояние A_1 может сочетаться с любым из $W_2(E_2)$ микросостояний A_2 . Наиболее вероятно такое распределение энергий, при котором W максимально. Если W имеет максимум, то он не будет меняться при передаче небольшого количества тепла от A_1 к A_2 . Положим, что W_1 и W_2 могут рассматриваться как непрерывные функции E_1 и E_2 соответственно и что эти функции дифференцируемы. Тогда

$$\Delta W = \frac{dW}{dq} q = \left(-\frac{dW_1}{dE_1} W_2 + W_1 \frac{dW_2}{dE_2} \right) q = 0 \quad (32)$$

Предыдущее условие дает:

$$\frac{1}{W_1} \frac{dW_1}{dE_1} = \frac{1}{W_2} \frac{dW_2}{dE_2} \quad (33)$$

или

$$\frac{d \ln W_1}{dE_1} = \frac{d \ln W_2}{dE_2} \quad (34)$$

Применим теперь формулу Планка-Больцмана для определения энтропий S_1 и S_2 тел A_1 и A_2 и получим:

$$\frac{1}{k} \frac{dS_1}{dE_1} = \frac{1}{k} \frac{dS_2}{dE_2}. \quad (35)$$

В нашем примере единственный вид энергии, которым обмениваются A_1 и A_2 , - это тепло, поэтому

$$\frac{dS_1}{dE_1} = \frac{dS_1}{dQ_1} = \frac{1}{T_1} \quad (36)$$

Первый член (36) выражает величину, обратную абсолютной температуре тела T_1 . Второй член в том же равенстве соответствует $1/T_2$, так что окончательно имеем:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_2} \quad \text{или} \quad T_1 = T_2 \quad (37)$$

Наиболее вероятное распределение энергий между E_1 и E_2 получается при равенстве температур. Полученная система формул согласуется с общеизвестными экспериментальными результатами. Решающим пунктом в нашем рассуждении является предположение о том, что $W_1(E_1)$ и $W_2(E_2)$ - непрерывные функции с регулярными производными. Это предположение справедливо только для больших материальных систем, содержащих огромное число атомов, когда энергии E_1 и E_2 очень велики по сравнению с квантовыми скачками энергии.

2.7 Статистика Больцмана

Рассмотрим статистику Больцмана более подробно.

Статистика Больцмана – статистика систем, содержащих большое число невзаимодействующих частиц (т.е. классического идеального газа); частный случай статистики Гиббса для классического идеального газа. Предложена Л.Больцманом в 1868-71. В более общем смысле статистика Больцмана – предельный случай квантовых статистик – предельный случай квантовых статистик идеальных газов (статистики Бозе-Эйнштейна и статистика Ферми-Дирака) для газа малой плотности, когда можно пренебречь квантовым вырождением газа, но следует учитывать квантование уровней энергии частиц.

В статистике Больцмана предполагается, что частицы распределяются по различным состояниям совершенно независимо друг от друга и что они различимы между собой. Число различных возможных микроскопических состояний, соответствующих заданному макроскопическому состоянию газа с энергией E и числом частиц N (статистический вес W макросостояния по Больцману), определяется числом различных способов, которыми можно распределить N частиц по состояниям в ячейках размером (фазовым объёмом) G_i при N_i в каждой ячейке. Это правило подсчёта состояний, предложенное Гиббсом, лежит в основе статистики Больцмана.

В основе статистической физики лежит предположение, что все микроскопические состояния, реализующие данное макроскопическое состояние, равновероятны, поэтому вероятность макроскопического состояния пропорциональна величине статистического веса W . В статистическом равновесии энтропия максимальна при заданной энергии и числе частиц, что соответствует наиболее вероятному распределению. Его, следовательно, можно найти из условия экстремума S (или W) при фиксированных E и N . Из этого условия следует распределение Больцмана для средних чисел заполнения i -го состояния с энергией E_i :

$$\bar{n}_i = \frac{\bar{N}_i}{G_i} = \exp \left[\frac{\mu - E_i}{kT} \right], \quad (38)$$

где μ - химический потенциал, T – абсолютная температура. Энтропия идеального газа, подчиняющаяся статистике Больцмана равна

$$S = \sum_i (N_i \ln G_i - \ln N_i!) = - \sum_i N_i \ln \frac{N_i}{G_i e}, \quad (39)$$

т.к. $\ln N_i! \approx N_i \ln \frac{N_i}{e}$.

Статистика Больцмана применима к разреженным атомным и молекулярным газам и плазме, но для плотных газов и плазмы, когда существенно взаимодействие между частицами, нужно применять статистику не Больцмана, а Гиббса. Статистика Больцмана применима к электронам в невырожденных полупроводниках, для металлов надо учитывать вырождение и применять статистику Ферми-Дирака.

Таким образом, Больцман рассматривает тепловые процессы с точки зрения молекулярно-кинетической теории как хаотическое движение огромного числа молекул. Поскольку с увеличением температуры системы эта хаотичность возрастает, то Больцман стал истолковывать энтропию как рост беспорядка и дезорганизации системы. Применяв статистический метод описания, он стал интерпретировать энтропию в терминах изменения порядка в системе. Когда энтропия системы возрастает, то соответственно усиливается беспорядок в системе. А это означает, что такие системы эволюционируют в сторону увеличения в них энтропии, беспорядка, хаоса и дезорганизации, пока не достигнут точки термодинамического равновесия, в которой всякое производство работы становится невозможным.

Больцман впервые отождествил термодинамическую вероятность W (число микросостояний) с термодинамической энтропией S . Оказалось, что эти физические величины характеризуют одно и то же явление со стороны макроскопического описания и со стороны микроскопического описания термодинамической системы и обе величины склонны к возрастанию в закрытых термодинамических системах. Однако величина W обладает важным недостатком, который мешает её использованию в физике и технике. Термодинамическая вероятность не обладает свойством аддитивности, которое принципиально необходимо для физических величин. Поэтому Больцман ввел физическую величину, которая называется статистической энтропией и которая физически тождественна термодинамической энтропии, введенной ранее. Для придания свойств аддитивности вычисляется логарифм W : $S = k \ln W$, где k - константа Больцмана, \ln - натуральный логарифм.

Рассмотрим теперь связь *микро- и макросостояний*. С точки зрения микротермодинамики каждое макросостояние обусловлено состояниями всех образующих его частиц - микросостояниями, задаваемых значениями координат и скоростей атомов и молекул системы. Следовательно, каждое макросостояние может быть реализовано различными способами.

Число способов реализации данного макросостояния равно числу сочетаний C из N элементов по n

$$C = \frac{N!}{n!(N-n)!} \quad (40)$$

где $n! = n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdots 3 \cdot 2 \cdot 1$.

Статистический вес или термодинамическая вероятность W - есть число способов, которыми может быть реализовано данное макросостояние.

$$W(n, N-n) = \frac{N!}{n!(N-n)!} \quad (41)$$

Термодинамическая вероятность пропорциональна обычной вероятности. Из формулы (29) следует, что наибольшей вероятностью обладает состояние с равномерным распределением молекул по объему. Однако важно, что в любой момент времени возможны отклонения от этого равновесного состояния, называемые флуктуациями.

Относительные флуктуации числа молекул, давления, температуры и т.п. тем меньше, чем больше число молекул в системе. Отношение среднеквадратичного отклонения некоторой величины к ее среднему значению равно:

$$\frac{\sqrt{\langle \Delta x^2 \rangle}}{\langle \Delta x \rangle} \approx \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (42)$$

Поскольку равновесное состояние не имеет тенденции к изменению, то оно является наиболее вероятным и, следовательно, имеет наибольший статистический вес. Таким образом, замкнутая система самопроизвольно переходит к равновесному состоянию. Переход макросистемы из неравновесного состояния в равновесное является необратимым, т.к. обратное изменение соответствует переходу системы в менее вероятное состояние.

Итак, замкнутая система, состоящая из большого количества частиц, стремится перейти к состоянию с их равномерным распределением по объёму.

Обратим внимание на две особенности: 1) если система не является замкнутой, то за счёт внешней энергии возможно поддержание какого-либо упорядоченного (неравномерного) распределения микрочастиц; 2) указанная тенденция для замкнутых макросистем справедлива в статистическом смысле, т.е. возможны отклонения от направления течения этого процесса - флуктуации

Величина, являющаяся функцией состояния, должна обладать свойством аддитивности. Действительно, макросистему всегда можно разбить на части и при этом функция состояния всей системы должна равняться сумме функций состояния её частей. Термодинамическая вероятность таким свойством не обладает, а логарифм термодинамической вероятности - обладает.

Состояние, реализуемое относительно малым числом способов называется упорядоченным. Состояние, реализуемое многими различными способами называется беспорядочным или случайным. Исходя из определения энтропии, можно сказать, что её возрастание ведет к увеличению степени беспорядка системы. Сообщая определенное количество теплоты системе мы увеличиваем в ней долю беспорядка при данной температуре и, наоборот, увеличивая температуру, мы препятствуем возрастанию беспорядка макросистемы, обуславливаемого сообщаемым ей количеством теплоты.

При температуре абсолютного нуля система находится в основном состоянии, которое реализуется одним единственным способом. Следовательно, термодинамическая вероятность W в данном случае равняется 1, а энтропия равняется нулю. Обобщая данное высказывание можно написать следующее выражение, которое является теоремой Нернста или третьим началом термодинамики.

$$\lim_{\Delta T \rightarrow 0} S_{\Delta T} = 0. \quad (43)$$

При стремлении к нулю абсолютной температуры энтропия термодинамической системы также стремится к нулю.

Чем более структурирована система, тем меньшим числом микросостояний она реализуется, т.е. её энтропия меньше, а в процессе структурирования происходит её уменьшение.

Термин «энтропия» используется для описания количества хаотичности в любой системе и для измерения и уменьшения пригодности энергии в результате процесса.

Из факта возрастания энтропии в замкнутой системе вовсе не следует, что она не может уменьшаться. Например, при остывании горячего концентрированного раствора соли, эта соль начинает кристаллизоваться, что сопровождается резким падением энтропии. Аналогичное падение энтропии наблюдается при замерзании воды, конденсации пара и т.п. Дело в том, что эти процессы происходят в неизолированной системе.

Живые существа по отдельности и биосфера в целом, ни при каком приближении не являются изолированными системами. Животные потребляют пищу, переводя сложные вещества в простые. Их (животных) энтропия понижается, суммарная энтропия (животного и пищи) растет. Растения, при производстве сахаров из углекислого газа, используют непрерывный поток солнечной энергии, поступающий на землю. Биосфера в целом получает энергию от солнца и рассеивает её в космос в виде тепла.

Биохимические процессы происходят при постоянных температуре и давлении. При данных условиях принципиальная возможность протекания процесса определяется не энтропией, а энергией Гиббса G (свободной энергией). Процесс возможен только в том случае, если G в начальном состоянии систем больше, чем в конечном, т.е. $dG < 0$.

Равновесное состояние системы определяется двумя факторами:

- а) система стремиться к состоянию с минимальной внутренней энергией;
- б) система стремиться к состоянию с максимальной энтропией. С ростом температуры значение второго фактора возрастает.

Таким образом, принципиальная возможность процесса определяется не ростом энтропии, а суммой двух факторов. Если падение энтропии будет компенсировано падением внутренней энергии, то процесс возможен. В замкнутой системе $dH=0$ (из первого начала), следовательно, процесс с уменьшением энтропии невозможен. В открытой – пожалуйста.

2.8 H – теорема Больцмана

В кинетической теории газов второе начало термодинамики является следствием *H-теоремы Больцмана*, т. к. H -функция Больцмана, определяемая через средний логарифм функции распределения атомов, пропорциональна энтропии идеального газа. Поэтому изменение энтропии имеет не абсолютный, а вероятностный характер.

H -теорема указывает на возрастание энтропии при приближении к статистическому равновесию. Используя *H-теорему*, Больцман показал, что в состоянии равновесия должно выполняться условие детального баланса. Функция распределения Максвелла-Больцмана f вытекает из этого условия. Больцман доказал, что поскольку эта функция удовлетворяет уравнению Больцмана, то такое распределение есть необходимое и достаточное условие равновесия. *H-теорема Больцмана* доказывается простым изменением

порядка интегрирования по скоростям, что позволяет выразить величину $-\frac{d \ln \langle f \rangle}{dt}$ через интеграл столкновений.

Название *H*-теорема (где *H* происходит от английского слова *heat*) было введено английским физиком Бербери в 1894 и позднее было принято Больцманом. *H*-теорема Больцмана утверждает, что энтропия замкнутой системы возрастает в процессе временной эволюции к равновесному состоянию и остаётся постоянной при достижении равновесия:

$$\frac{dS}{dt} \geq 0. \quad (44)$$

Существенно, что в процессе эволюции к равновесному состоянию остаётся неизменной не сама энергия системы, как это следует из механики, а лишь её среднее значение

$$\langle E \rangle \equiv \left\langle \frac{p^2}{2m} \right\rangle = const \quad (45)$$

При таком условии возможны флуктуации, следовательно, описание эволюции системы по уравнению Больцмана (при условии внешней замкнутости) не является полным.

В статье 1877 «О связи второго начала механической теории теплоты с исчислением вероятностей» Больцман пишет, что связь между вторым началом термодинамики и исчислением вероятностей обнаруживается прежде всего в том, что, как мною было показано, аналитическое доказательство второго начала невозможно никакими другими способами, кроме тех, которые заимствуются из теории вероятностей. Чрезвычайно интересна здесь гипотеза, что молекула газа может терять и приобретать только дискретные порции энергии, кратные некоторой наименьшей порции энергии ϵ . «Перед столкновением каждая из обеих сталкивающихся молекул имеет живую силу 0, или ϵ , или 2ϵ и т. д. ... или $p\epsilon$ и вследствие какой-то причины будет происходить то, что и после соударения никогда ни одна из сталкивающихся молекул не принимает живой силы, не содержащейся в этом ряде». Однако Больцман оговаривается, что это фикция, которой не соответствует ничего реального, но которая облегчает математическую трактовку проблемы. В дальнейших вычислениях Больцман освобождается от гипотезы, полагая в пределе $\epsilon=0$.

Больцман ставит задачу найти закон распределения, который позволяет знать, как много из общего числа молекул n обладает энергией 0, ϵ , 2ϵ ,.... Он подсчитывает, сколько комбинаций соответствует такому распределению состояний, полагая, что число этих комбинаций определяет вероятность данного состояния.

Если бы Больцман считал молекулы газа неразличимыми, как это делал в квантовой теории идеального газа Эйнштейн, и сохранил предположение о конечной порции энергии, то он получил бы формулу статистики Бозе—Эйнштейна. Но Больцман этого не сделал. Он считал неразличимыми между собой молекулы, находящиеся в одном и том же энергетическом состоянии. Однако когда молекула одной энергетической группы меняется местами с молекулой другой энергетической группы, то, хотя распределение молекул не меняется, тем не менее возникает новая комплексия. Число комплексий, которым может быть осуществлено данное состояние, и определяет вероятность этого состояния, которая определяется числом:

$$\frac{n!}{\omega_0! \omega_1! \omega_2! \dots}, \quad (46)$$

где n - общее число молекул, ω_0 - число молекул, обладающих энергией, равной нулю (Больцман считает энергию между 0 и ϵ , отступая от первоначальной квантовой гипотезы), ω_1 , — число молекул, обладающих энергией ϵ (между ϵ и 2ϵ), и т. д. При этом

$$n = \omega_0 + \omega_1 + \omega_2 + \dots \quad (47)$$

и общая энергия $L = \epsilon \omega_1 + 2\epsilon \omega_2 + 3\epsilon \omega_3 \dots$

Логарифмируя выражение для вероятности и определяя максимум этой логарифмической функции при условии постоянства n и L , Больцман находит распределение Максвелла — Больцмана, которое оказывается, таким образом, наиболее вероятным распределением. Подсчитывая наиболее вероятное распределение скоростей, Больцман вводит величину Θ , равную среднему логарифму функции распределения, взятой со знаком минус. Максимальное значение этой величины, которую Больцман называет «мерой распределения», при условии постоянства числа молекул и их общей кинетической энергии определяет наиболее вероятное распределение.

Закон возрастания энтропии у Больцмана получает простую интерпретацию: «Система стремится к наиболее вероятному состоянию». Второе начало потеряло характер абсолютного закона природы и стало

статистическим законом. В природе возможны процессы, происходящие в направлении убывания энтропии, и это, по мнению Больцмана, избавляет Вселенную от тепловой смерти. Для космоса в целом тепловой смерти нет. Взгляды и выводы Больцмана подвергались ожесточенной критике. Но вместе с тем они воспринимались и развивались другими исследователями: Максвеллом, Лоренцем, Планком. Планк дал простой вывод и простое точное выражение соотношения между энтропией и вероятностью. В обозначениях Планка оно имеет вид:

$$S = k \ln W,$$

где S - энтропия, W - вероятность, k - постоянная, равная R/N_A , которую Планк назвал в честь Больцмана постоянной Больцмана. Из соотношения Планка исчезла неопределенная аддитивная константа, фигурирующая у Больцмана, и это соответствует тепловой теореме Нернста. Формула соотношения между энтропией и вероятностью, данная Планком, фигурирует сегодня во всех руководства и монографиях как соотношение Больцмана.

Необратимость, вытекающая из Н-теоремы, вызвала массу вопросов и возражений, поскольку казалось, что она противоречит обратимым во времени законам динамики. Отвечая на подобные возражения, Больцман, а позднее Эренфест интерпретировали убывание энтропии как статистическое, а не динамическое изменение.

2.9 Энтропия как экстенсивный параметр системы

Самопроизвольными являются такие процессы (и химические реакции в том числе), которые сопровождаются рассеянием, диссипацией энергии или вещества без изменения общего количества энергии и вещества в мире. При этом происходит выравнивание **интенсивных параметров** системы - свойств, не зависящих от количества вещества (молей) в системе. Примеры интенсивных параметров: температура (теплота переходит от более теплого тела к менее тепловому, пока их температуры не сравняются), давление (вещество переходит из области высокого давления в область низкого, пока давление в разных частях системы не станет одинаковым), электрический потенциал, а в однородных системах - плотность, концентрация и т.д. В отличие от интенсивных **экстенсивные параметры** зависят от количества вещества в системе - это масса, объем, внутренняя энергия, электрический заряд и др.

Разницу между интенсивными и экстенсивными параметрами покажем на следующей модели (**Рис. 1**). Пусть мы имеем два сосуда, из которых первый содержит 6 г 50%-го раствора некоторого вещества A , а второй - 30 г 20%-го. Соединим сосуды трубкой, которая обеспечит возможность диффузии растворенного вещества из одного сосуда в другой. Масса вещества (экстенсивный параметр) в первом растворе (3 г) меньше, чем во втором (6 г). Тем не менее вещество будет диффундировать из первого сосуда во второй, пока не выровняется интенсивный параметр - концентрация в обоих растворах.

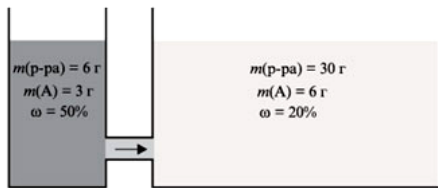


Рис. 3. Направление диффузии вещества от большей концентрации к меньшей

Система с интенсивными параметрами, одинаковыми во всех её частях, является равновесной; в ней происходят (если вообще происходят) только обратимые процессы, и ее свойства не меняются во времени. Такое состояние системы наиболее вероятно. Покажем это на следующем примере. Пусть мы имеем изолированную (т.е. не обменивающуюся с внешней средой ни веществом, ни энергией) систему, состоящую из ящика, в котором находятся четыре одинаковые, но различимые для нас (по номерам, цвету) молекулы, способные свободно двигаться во всем объеме ящика, попадая в ту или другую его половину случайным образом. На **Рис. 4** показаны возможные варианты их распределения по двум половинам сосуда (пунктир — мысленная, но не физическая граница между двумя половинами ящика). Этих вариантов пять. Назовем их состояниями системы.

	1	2	3	4	5
Макросостояние:	0:4	1:3	2:2	3:1	4:0
Термодинамическая вероятность, W :	1	4	6	4	1
Математическая вероятность состояния, P :	1/16	4/16	6/16	4/16	1/16

Рис. 4. Способы распределения четырёх молекул по двум половинам сосуда

Очевидно, что состояние 1 (0:4) может быть реализовано единственным способом, $W_1 = 1$ (W - число способов, которым может быть реализовано данное состояние системы, - так называемая термодинамическая вероятность системы. Для состояния 2 (1:3) возможно 4 варианта распределения молекул (в левой половине сосуда может быть любая из четырех молекул), $W_2 = 4$. Для состояния 3 (2:2), как легко убедиться, $W_3=6$. Далее

очевидно, $W_4=W_2 = 4$, $W_5=W_1 = 1$. Всего существует $W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 16$ способов размещения четырех молекул по двум половинам сосуда. Какое же состояние наиболее вероятно при случайном движении молекул? Очевидно, то, которое возникает в большем числе случаев. Вероятности распределения: $P(0:4) = 1/16$, $P(1:3) = 4/16$, $P(2:2) = 6/16$, $P(3:1) = 4/16$ и $P(4:0) = 1/16$. Таким образом, вероятность распределения состояния 3 (2:2) – равномерного распределения — наибольшая. Система самопроизвольно переходит от менее вероятных распределений (0:4, 1:3) к более вероятному. Вот движущая сила процесса: в результате случайных движений происходит направленный самопроизвольный процесс. С увеличением числа молекул вероятность отклонения от равномерного распределения быстро уменьшается и становится исчезающе малой для макроскопических систем. Если в объеме газа $0,2 \text{ мкм}^3$ отклонение плотности от средней на 1% происходит каждые 10^{-9} с, вероятность того, что в 1 мм^3 плотность будет отличаться от средней на 1%, равна 10^{-60} .

Наименьшая энтропия у веществ в кристаллическом состоянии и максимальная у газов. Жидкость в этом отношении занимает промежуточное положение. Чем меньшим числом способов описывается данная система, чем меньше ее энтропия, тем, говорят, выше в ней порядок. Действительно, строение идеального кристалла при абсолютном нуле градусов Кельвина совершенно однозначно, т.е. $W = 1$ и в соответствии с уравнением Больцмана $S = 0$. В идеально упорядоченном состоянии при температуре абсолютного нуля энтропия вещества равна 0. На **Рис. 5** показаны двумерные схемы строения идеального кристалла и кристалла с одним свободным узлом кристаллической решетки, т.е. с одной вакансией.

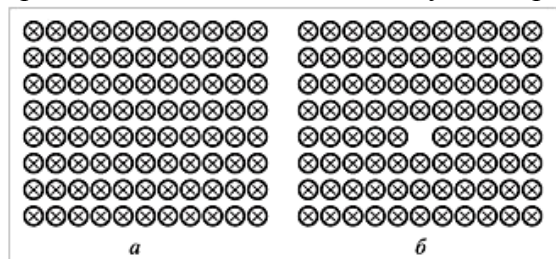


Рис. 5. Двухмерные схемы строения идеального кристалла (а) и кристалла с одной вакансией (б)

Для идеального кристалла $W = 1$ и $S = k \ln W = 0$. Из **Рис. 3** видно, что состояние с одной вакансией может быть реализовано не единственным способом, как в идеальном кристалле без дефектов, а 88 способами (сосчитайте!): вакансия может

находиться в любом из 88 узлов решетки, $W = 88$ и $S = k \ln W = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 88 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 4,48 = 6,18 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} > 0$.

Таким образом, зная структуру вещества, можно вычислить его энтропию.

Энтропия – экстенсивный параметр системы. Поэтому чем больше в ней вещества, тем больше ее энтропия. Чем выше температура, тем больше число энергетических состояний, в которых могут находиться частицы, образующие данное вещество, тем больше энтропия. При повышении температуры от 0К даже в идеальном кристалле появляются молекулы (ионы, атомы) в различных энергетических состояниях. Следовательно, при повышении температуры, при сообщении теплоты системе ее энтропия возрастает.

Энтропия увеличивается, когда жидкость изменяет состояние на газообразное при потреблении большего количества тепловой энергии. Такая же аналогия существует при описании порядка источников энергии. Если энергия заключена в ограниченном источнике, у нее низкое значение энтропии. Если она распределена среди большого количества молекул, ее интенсивность уменьшается, увеличивая энтропию. Например, если 1,05 кДж энергии у 1000 молекул передать 1 миллиону молекул, интенсивность энергии уменьшится, а энтропия возрастет.

Больцман первым понял, что необратимое возрастание энтропии можно было бы рассматривать как проявление все увеличивающегося молекулярного хаоса, постепенного забывания любой начальной асимметрии, поскольку асимметрия приводит к уменьшению числа комплексов по сравнению с состоянием, отвечающим максимальному значению P . Придя к такому выводу, Больцман решил отождествить энтропию S с числом комплексов: каждое макроскопическое состояние энтропия характеризует числом способов, которым оно может быть достигнуто. Результаты Больцмана означают, что необратимое термодинамическое изменение есть изменение в сторону более вероятных состояний и что равновесное состояние – макроскопическое состояние, соответствующее максимуму вероятности.

Вероятность позволяет адекватно объяснить, почему система забывает любую начальную асимметрию, детали любого конкретного распределения (например, какие частицы были первоначально сосредоточены в данной подобласти системы, или распределение скоростей, возникшее при смешении двух газов с различными температурами). Забывание начальных условий возможно потому, что, как бы ни эволюционировала система, она в конечном счете перейдет в одно из микроскопических состояний, соответствующих макроскопическому состоянию хаоса и максимальной симметрии, поскольку именно такие макроскопические состояния составляют подавляющее большинство всех возможных

микроскопических состояний. Коль скоро наиболее вероятное состояние достигнуто, система отклоняется от него лишь на небольшие расстояния и на короткие промежутки времени. Иначе говоря, система лишь *флуктуирует* около равновесного состояния.

Из принципа порядка Больцмана следует, что наиболее вероятным состоянием, достижимым для системы, является такое, в котором события, происходящие в системе одновременно, *статистически взаимно компенсируются*. Каково бы ни было начальное распределение, эволюция системы в конечном счете приведет к равномерному распределению $N_1=N_2$. По достижении этого состояния необратимая макроскопическая эволюция системы завершается. Разумеется, частицы будут по-прежнему переходить из одной половины ящика в другую, но в среднем в любой момент времени *число частиц, движущихся в одном направлении, будет совпадать с числом частиц, движущихся в противоположном направлении*. В результате движение частиц способно вызывать лишь малые, короткоживущие флуктуации вблизи равновесного состояния $N_1=N_2$. Таким образом, вероятностная интерпретация Больцмана позволяет понять специфическую особенность равновесного состояния.

И в термодинамике, и в ее вероятностной интерпретации возникает асимметрия во времени: энтропия возрастает в направлении будущего, но не прошлого. Если мы рассматриваем динамические уравнения, инвариантные относительно обращения времени, то такая асимметрия представляется невозможной. Второе начало термодинамики представляет собой принцип отбора, совместимый с динамикой, но не выводимый из нее. Оно ограничивает возможные начальные условия, доступные для динамической системы. Следовательно, второе начало термодинамики знаменует радикальный отход от механистического мира классической или квантовой механики.

До сих пор мы рассматривали изолированные системы, в которых число частиц и полная энергия заданы граничными условиями. Но объяснение Больцмана допускает обобщение на открытые системы, взаимодействующие с окружающей средой. В замкнутой системе, определяемой граничными условиями так, что ее температура T поддерживается постоянной за счет теплообмена с окружающей средой, равновесие соответствует не максимуму энтропии, а минимуму аналогичной функции, получившей название свободной энергии: $F = E - TS$, где E — энергия системы, T — её абсолютная температура.

Соотношение $F = E - TS$ означает, что равновесие есть результат конкуренции между энергией и энтропией, а температура выступает в роли множителя, определяющего относительный вес этих двух факторов. При низких температурах перевес на стороне энергии, и мы наблюдаем образование таких *упорядоченных* (с малой энтропией) и *низкоэнергетических* структур, как кристаллы. Каждая молекула внутри таких структур взаимодействует со своими соседями, и их кинетическая энергия мала по сравнению с потенциальной энергией, обусловленной взаимодействиями между соседними молекулами. При высоких температурах доминирует энтропия и в системе устанавливается молекулярный хаос. Важность относительного движения возрастает, и регулярность в строении кристалла нарушается; по мере увеличения температуры вещество переходит сначала в жидкое, а затем в газообразное состояние. Принцип порядка Больцмана может быть использован и при исследовании сосуществования структур (например, жидкой и твердой фаз) или равновесия между кристаллизовавшимся продуктом и тем же продуктом в растворе.

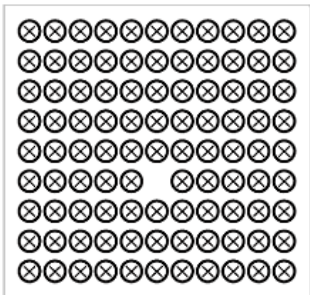


Рис. 6. Двухмерная модель кристалла с одной вакансией

Задача 1. Сосчитайте энтропию двухмерного кристалла, показанного на **Рис. 7**.

Ответ. В этом кристалле $9 \cdot 11 - 1 = 98$ атомов. Вакансия может быть в любом из 99 узлов решетки, следовательно, $W = 99$. Энтропия $S = k \ln W = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 99 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 4,60 = 6,35 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

2.10 Неправильное применение понятия энтропии

Существует мнение, что мы можем смотреть на W и как на меру беспорядка в системе. Это может быть оправдано, потому что мы думаем об «упорядоченных» системах как о системах, имеющих очень малую возможность конфигурирования, а о «беспорядочных» системах, как об имеющих большое число возможных состояний. Собственно, это просто переформулированное определение энтропии как числа микросостояний на данное макросостояние.

Рассмотрим, например, распределение молекул идеального газа. В случае идеального газа наиболее вероятным состоянием, соответствующим максимуму энтропии, будет равномерное распределение молекул. При этом реализуется и максимальный «беспорядок», так как при этом будут максимальные возможности конфигурирования.

Подобное определение беспорядка термодинамической системы как количества возможностей конфигурирования системы фактически дословно соответствует определению энтропии как числа микросостояний на данное макросостояние. Проблемы начинаются в двух случаях: 1) когда начинают смешивать различные понимания беспорядка, и энтропия становится мерой беспорядка вообще; 2) когда понятие энтропии применяется для систем, не являющихся термодинамическими.

В обоих этих случаях применение понятия термодинамической энтропии совершенно неправомерно.

Рассмотрим пример термодинамической системы - распределение молекул в поле тяготения. В этом случае наиболее вероятным распределением молекул будет распределение согласно, барометрической формуле Больцмана. Другой пример - учёт электромагнитных сил взаимодействия между ионами. В этом случае наиболее вероятным состоянием, соответствующим максимуму энтропии, будет упорядоченное кристаллическое состояние, а совсем не «хаос». (Термин «хаос» здесь понимается в смысле беспорядка. К хаосу в математическом смысле как сильно неустойчивой нелинейной системе это не имеет отношения).

Кристаллическая решётка может быть и в равновесном, и в неравновесном состоянии, как и любая термодинамическая система. В рамках модели совокупности взаимодействующих осцилляторов рассмотрим некоторое неравновесное состояние: все осцилляторы имеют одинаковое отклонение от положения равновесия. С течением времени эта система перейдёт в состояние термодинамического равновесия, в котором отклонения (в каждый момент времени) будут подчинены некоторому распределению типа Максвелла (только это распределение будет для отклонений, и оно будет зависеть от типа взаимодействия осцилляторов). В таком случае максимум энтропии будет действительно реализовывать максимум возможностей конфигурирования, то есть - беспорядок согласно вышеуказанному определению. Но данный «беспорядок» вовсе не соответствует «беспорядку» в каком-либо другом понимании, например, информационному. Такая же ситуация возникает и в примере с кристаллизацией переохлаждённой жидкости, в которой образование структур из «хаотичной» жидкости идёт параллельно с увеличением энтропии.

Это неверное понимание энтропии появилось во время развития теории информации, в связи с парадоксом термодинамики, связанным с мысленным экспериментом т.н. «демона Максвелла». Суть парадокса заключалась в том, что рассматривалось два сосуда с разными температурами, соединённых узкой трубкой с затворками, которыми управлял т.н. «демон». «Демон» мог измерять скорость отдельных летящих молекул, и т.о. избирательно пропускать более быстрые в сосуд с высокой температурой, а более медленные - в сосуд с низкой. Из этого мысленного эксперимента вытекало кажущееся противоречие со вторым началом термодинамики. Парадокс был разрешён при помощи теории информации. Для измерения скорости молекулы «демон» должен был бы получить информацию о её скорости. Но всякое получение информации - материальный процесс, сопровождающийся возрастанием энтропии. Количественный анализ показал, что приращение энтропии при измерении превосходит по абсолютной величине уменьшение энтропии, вызванное перераспределением молекул «демоном». (Демоном Максвелла мы займёмся подробнее, когда будем рассматривать информацию по существу).

Многие учёные отождествляют информацию с «отрицательной энтропией» ввиду совпадения выражений для этих понятий. Начало такому походу положил Н. Винер. Другие учёные полагают, что энтропия не является мерой дезорганизации, мерой беспорядка и хаоса, а информация совсем не является мерой упорядоченности, организованности, порядка.

Рассмотрим второй случай неверного применения понятия энтропии. Возьмём набор 10 монет, каждая из которых может находиться либо в состоянии «орёл», либо в состоянии «решка». Наиболее «упорядоченным» макроскопическим состоянием будет являться или 10 «орлов», или 10 «решек»; для каждого результата в каждом случае имеется только одна возможная конфигурация. И наоборот, наиболее «неупорядоченное» состояние содержит 5 «орлов» и 5 «решек», и здесь ${}^{10}C_5 = 252$ способов для получения этого результата. Безусловно, этот пример также некорректен, так как система монет не является термодинамической системой, и поэтому термодинамическая энтропия системы в обоих случаях (как бы ни были перевёрнуты монеты) окажется, конечно, одинаковой. Таким образом, разбросанные по комнате стулья не имеют отношения к термодинамической энтропии, хотя и могут иметь отношение к энтропии информационной. Впрочем, это легко подтвердить на практике: замкнутая система 10 монет, перевёрнутых орлами вверх, самопроизвольно не перейдёт в систему хаотично перевёрнутых монет.

2.11 Критика подхода Больцмана

Подход Больцмана к описанию энтропии был подвергнут критике со стороны крупнейших учёных своего времени, например, Цермелло (молодого сотрудника М. Планка), Пуанкаре и др. Пуанкаре, например, открыто рекомендовал не изучать труды Больцмана. (Не говоря уж об энергетиках типа венского физика

Эрнста Маха, которые представления об атомах и молекулах казались продуктами чистой фантазии, аналогично представлениям о ведьмах и привидениях и которые считали попытки раскрытия понятий и законов термодинамики с помощью молекулярно-кинетической теории антинаучным занятием). Гравитационную формулу Больцмана критиковал Лодшмидт.

Противники, однако, стояли друг друга, дискуссия была обоюдно острой.

Замечание. Кто послабже, тот не выдерживает. У Больцмана возникла мания преследования, и в момент депрессии он повесился в гостинице на шнуре от штор. Его могила много лет имела вид заброшенного холмика, пока её не нашёл Макс Планк, который установил на ней плиту с надписью в виде «формулы Больцмана» (формулы, которую Больцман никогда не писал и которая была предложена как раз самим М.Планком).

Рис. 7. Памятник на могиле Л.Больцмана на центральном кладбище в Вене. На нём выгравировано знаменитое соотношение Больцмана в формулировке М.Планка (скульптор Дитер Фламм).

Критика Больцмана закончилась печально для него, но возможно в этом споре правы были Пуанкаре и Цермелло, а не Больцман. По крайней мере, парадоксы «биллиарда Больцмана» и более позднего «биллиарда Синая», парадокс Гиббса, парадокс демона Максвелла, парадокс кошки Шредингера в рамках подхода Больцмана разрешить не удалось. Не соответствует реальности и предсказанная Больцманом тепловая смерть

Вселенной. Есть претензии и к использованной Больцманом аксиоматике.

Остановимся на возражениях Больцману со стороны современных ему учёных.

Прежде всего, следует напомнить, что Больцман в 1886 попытался с помощью энтропии объяснить, что такое жизнь. По мнению Больцмана, жизнь это явление, способное уменьшать свою энтропию. «Всеобщая борьба за существование это борьба против энтропии». Все процессы во Вселенной изменяются в направлении хаоса, а Вселенная идет к тепловой смерти. Антитезой Больцману выступали эволюционисты. В частности Ч.Дарвин показал, что процессы жизни не только не деградируют, но все время усложняются. И если прав Больцман, то почему мы до сих пор ещё живем?

Пуанкаре, автор «формулы Эйнштейна» $E=mc^2$ и основоположник теории устойчивости не смог связать статистический подход Больцмана с неустойчивостью. Дело в том, что Пуанкаре придерживался принципа детерминизма и случайности недолюбливал.

Но дело не только в философских спекуляциях.

Для обсуждаемых здесь вопросов более важна так называемая возвратная теорема Пуанкаре-Цермело: если изолированная физическая система и достигла состояния с максимальной энтропией, то через некоторое время она все равно вернётся почти в то же самое состояние, с которого она начала переход к состоянию с максимальной энтропией.

Это - одна из теорем, сформулированных Пуанкаре для небесномеханических систем. Исследуя задачу взаимодействия трёх тел, Пуанкаре пришёл к весьма важному утверждению о том, что система из материальных точек, обладающих массами и движущихся по законам механики, через некоторое время обязательно должна вернуться в состояние, весьма близкое к первоначальному. Сам Пуанкаре использовал эту «теорему возвращения» при изучении стабильности солнечной системы. Но теорема оказалась на редкость универсальной. Она положила начало нынешнему учению о взаимно однозначных и взаимно непрерывных преобразованиях множеств, инвариантных относительно меры. Первый выход теоремы за пределы небесной механики состоялся еще в 1896. Эрнст Цермело, молодой ассистент Планка, применил «теорему возвращения» к совокупности свободно движущихся молекул или атомов. Получалось, что протекающие в такой системе процессы обратимы. Если, например, два различных газа смешиваются после удаления разделяющей их перегородки, то можно дождаться такого момента, когда они сами собой разделятся, вернуться к исходному состоянию. Это явно противоречило утверждаемой вторым началом термодинамики необратимости всех процессов.

В спор Цермело с Больцман вёлся темпераментно. Больцман настолько непримиримо отнёсся к рассуждениям Цермело, что в полемическом задоре посоветовал ему не вмешиваться в дела статистической механики. По мнению Больцмана, теорема Пуанкаре полностью согласовывалась с его научными положениями. Он утверждал, что для систем, состоящих из огромного числа частиц, время возврата в начальное состояние, которое является весьма маловероятным, должно быть астрономически большим. Это и означает, что, несмотря на «теорему возвращения», практически осуществляются лишь необратимые

процессы как наиболее вероятные. Для смеси двух газов период, в течение которого могло бы произойти их самопроизвольное разделение, настолько велик, что никому не удаётся наблюдать такое необычное явление. В полемике с противником Больцман проявил весь свой сарказм, задевая порой даже Планка, стоявшего на стороне своего ученика. В результате между участвовавшими в дискуссии учеными сложились далеко не дружественные отношения.

В результате дискуссии физике возникли два надёжно установленных, но взаимоисключающих друг друга взгляда на обратимость физических процессов. Согласно второму началу термодинамики, если термодинамическая система изолированная, то все процессы в ней идут так, что энтропия системы растёт. Когда она достигает максимального значения, что соответствует состоянию термодинамического равновесия системы, то система в этом состоянии может находиться сколь угодно долго. Возникающие флуктуации гасятся термодинамическим равновесием. Отсюда вытекает запрет: нельзя уменьшить энтропию изолированной термодинамической системы. С другой стороны, для замкнутой динамической системы произвольной сложности, движение которой происходит в ограниченной области пространства, справедлива теорема Пуанкаре: за достаточно большое время фазовая траектория в Γ -пространстве вернётся в область сколь угодно близкую к начальной точке этой траектории.

Таким образом, любое неравновесное макроскопическое состояние рано или поздно должно повториться, как бы ни было велико отклонение от равновесия. Время возврата t_R определяется соотношением $t_R \sim t_{\Gamma}/D_{\Gamma}$, где D_{Γ} - фазовый объём неравновесной области. Для N молекул газа получаем тогда $t_R \sim t_N N$. В 1 см^3 газа при нормальных условиях число N велико настолько, что $lgt_R \sim 2 \cdot 10^{19}$ единиц времени (практически неважно каких, лет или секунд, настолько велика эта цифра!). В то же время, возраст Вселенной оценивается как $T \sim 5 \cdot 10^9$ лет. Таким образом, имеет место практическая необратимость макроскопических процессов, если речь идет о сколь-нибудь существенных отклонениях от термодинамического равновесия. Это проявляется в отсутствии симметрии по отношению к изменению знака времени $t' = -t$.

Период релаксации - размешивание следов изображающей точки в энергетическом слое Γ -пространства, происходящее «необратимо» с возрастанием энтропии. В соответствии с теоремой возврата за время $t_R \gg t$ система возвращается в неравновесное состояние и энтропия убывает. Для больших флуктуаций времена возврата велики. По отношению к ним эволюция практически необратима. Тем не менее, обилие повседневных реалий свидетельствует о самопроизвольном образовании структур из хаоса в Природе на разумных (антропоцентристски) временных интервалах. В астрономических масштабах это гигантские скопления вещества в виде галактик. В макромире - диссипативные структуры в системах с химическими реакциями, не говоря уже о возникновении и существовании живых организмов. Не вступая в противоречие с законами термодинамики и не апеллируя к квазипериодическим режимам Пуанкаре, объяснение процессам зарождения порядка из хаоса можно дать лишь подчеркивая открытый характер систем, в которых происходит генерация структур.

Никто не отрицает, что второе начало термодинамики – это закон природы. Но законом природы можно считать и доказанную Пуанкаре теорему о квазивозврате. В данном случае изменение временного масштаба процессов изменило и утверждение науки об этапах эволюции неравновесного состояния изолированной термодинамической системы.

А. Пуанкаре резко выступал против метода Л. Больцмана, поскольку доказал, что большинство проблем классической механики не сводится к интегрируемым системам (теорема Пуанкаре, 1892). Под интегрируемыми системами понимаются такие, в которых с помощью канонических преобразований можно исключить потенциальную энергию и ввести гамильтониан как оператор полной энергии системы. Если можно сделать такое преобразование, приводящее исходные уравнения к гамильтониановскому представлению энергии, то задача нахождения уравнений движения (на математическом языке - интегрирования) решается – подтверждается принцип детерминизма, и отвергается статистический принцип Больцмана.

Согласно теореме Пуанкаре, только функция полной энергии некоторой системы в небесной механике является функцией «с хорошим поведением» (т.е. интегрируемой); другие функции, описывающие поведение этой системы, имеют точки разрывов, соответствующие внутренним резонансам, когда поведение системы становится непредсказуемым. В качестве примера можно привести траекторию искусственного спутника Земли, который приходит в неустойчивое состояние при наклоне в 63° . (Более тривиальный пример нарушения принципа детерминизма - маятник, застывший в верхнем положении, когда никто не знает, в какую сторону - правую или левую - он качнётся).

Если «теорема возвращения» породила в ученой среде неуёмную вспышку страстей, то другая теорема Пуанкаре, наоборот, погасила тот азарт, который сопутствовал одной проблеме небесной

механики. Целых два столетия математики вели поиски «первых интегралов» небесномеханических задач. Заманчивы были эти математические образования, построенные на основе известных законов сохранения. Согласно закону сохранения, если на механическую систему не действуют извне никакие силы, то центр масс её либо остаётся неподвижным, либо же движется по прямой с постоянной скоростью. Так, если считать, что на Солнце и планеты не действует притяжение со стороны звёзд, то центр масс солнечной системы перемещается равномерно и прямолинейно в направлении созвездия Геркулеса со скоростью 20 километров в секунду. Поскольку движение происходит в трёхмерном пространстве, то можно записать шесть предельно простых математических соотношений для составляющих скорости центра масс по трём направлениям (они либо равны нулю, либо постоянны) и для трёх его пространственных координат, указывающих положение этой точки. Такие соотношения между координатами и скоростями, которые, подобно «интегральным инвариантам», остаются постоянными при движении механической системы, получили название «первых интегралов». Закон сохранения момента количества движения системы даёт три дополнительных «первых интеграла». И наконец, запись третьего закона сохранения - закона сохранения энергии - представляет собой ещё один «первый интеграл».

«Первые интегралы» поставляли учёным уже готовые соотношения между координатами и скоростями, полученные без интегрирования дифференциальных уравнений движения. Эти выражения в отличие от «интегральных инвариантов» не содержат никаких интегралов и являются чисто алгебраическими соотношениями, которые оказывают неоценимую помощь при исследовании различных задач механики. К сожалению, их было только десять. А для полного решения задачи трёх тел, например, требовалось восемнадцать «первых интегралов». Поэтому не прекращались упорные поиски недостающих «первых интегралов», которые вместе с «классическими» позволили бы получать окончательные результаты для основных задач небесной механики, минуя все неприятности, связанные с интегрированием дифференциальных уравнений. Но каждый раз, как ученые узнавали об открытии нового математического соотношения, сохраняющего постоянное значение при движении системы, рано или поздно обнаруживалось, что оно является комбинацией уже известных «первых интегралов» и не несет никаких новых возможностей. «Первые интегралы» небесной механики уподобились великим загадкам математики - квадратуре круга, трисекции угла и другим, над решением которых тщетно билось не одно поколение ученых. Не видно было конца этой бесплодной трате усилий.

В 1887 когда Г. Брунс строго доказал, что всякий новый «первый интеграл» задачи трёх тел, выражаемый алгебраическим соотношением, непременно будет представлять собою некоторую комбинацию старых, «классических» интегралов. Десять известных «первых интегралов» алгебраического типа исчерпывали собою все алгебраические соотношения, обладающие нужными свойствами. Естественно было теперь обратиться к поискам среди более сложных математических выражений - трансцендентных. Не относятся ли все недостающие первые интегралы к трансцендентным? Пуанкаре доказал более общее утверждение о том, что уравнения движения задачи трёх тел не допускают не только алгебраических, но и трансцендентных первых интегралов, отличных от классических. Теорема Брунса-Пуанкаре положила конец всяким поискам недостающих первых интегралов.

В последних лекциях этого курса мы опишем парадоксы, возникающие при применении методов статистической физики в термодинамике, правда, без особых перспектив на их разрешение.

В предыдущих лекциях мы рассмотрели основные законы равновесной термодинамики в духе Клаузиуса-Кельвина и возникающую на их основе функцию состояния системы – физическую энтропию. Было показано, что вовлечение в термодинамику идей статистической физики позволило связать многие макропроцессы с микропроцессами и ввести понятие статистической энтропии в стиле Больцмана-Планка-Эйнштейна-Гиббса. Развитие теории статистической энтропии в рамках математической статистики, систем связи, методов кодирования и криптографии, теории управления и т.п. привели к рождению понятия технической (информационной, кибернетической, компьютерной) энтропии, а через него – к понятию информации (не в смысловом, а в чисто техническом смысле).

В данной лекции мы займёмся именно технической энтропией и попытаемся найти, возможные параллели с термодинамической статистической (т.е. физической) энтропией. Во второй части лекции перейдём от технической энтропии к технической информации (Хартли, Шеннон, Винер, Колмогоров).

В гигантской фабрике естественных процессов принцип энтропии занимает место директора, который предписывает вид и течение всех видов: импульса (вязкое течение), энергии, энтропии или какой-либо другой физической величины
Арнольд Зоммерфельд

Энтропия - понятие, впервые введённое в термодинамике для определения меры необратимого рассеивания энергии (термодинамическая энтропия – функция состояния системы, точнее - мера уравниваемости системы). Термин широко применяется и в других областях знания: в статистической физике - как мера вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния (статистическая энтропия); в теории информации как мера неопределённости какого-либо опыта, который может иметь разные исходы; в исторической науке, для объяснения феномена альтернативности истории (инвариантности и *вариативности* исторического процесса).

Известны и другие виды энтропий:

Информационная энтропия - мера неопределённости источника сообщений, определяемая вероятностями появления тех или иных символов при их передаче.

Энтропия динамической системы - в теории динамических систем, мера хаотичности в поведении траекторий системы.

Энтропия отражения - часть информации о дискретной системе, которая не воспроизводится при отражении системы через совокупность своих частей.

Культурная энтропия - это часть энергии, направленная на ссоры, интриги, переживания обид и шуточки над коллегами.

Номера энтропии - компонент в математической теории метрических пространств, используемый для измерения размеров наборов (и, частично, фракталов).

Энтропия в теории управления - мера неопределённости состояния или поведения системы в данных условиях.

В этой лекции нас будет интересовать информационная (техническая) энтропия.

1. ПЕРВЫЕ ПОПЫТКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

1.1 Информация Фишера

Ни термодинамическая, ни статистическая энтропии никак не были связаны с информацией, возможно потому, что информация не входила в сферу научных интересов (за исключением философии). Впервые термин информация в 1921 в науку ввёл Р.Фишер – один из основателей математической статистики.

Рональд Эйлмер **Фишер** (1890-1962) - английский статистик, биолог-эволюционист и генетик. А.Халд охарактеризовал его как «гения, едва не в одиночку заложившего основы современной статистики», а Р.Докинз назвал «величайшим последователем Дарвина». Ввёл F-критерий, используемый для сравнения двух дисперсий и статистическое распределение Фишера.

Как уже упоминалось, одно из ранних определений понятия информации - семантическое (смысловое) - означает новое знание, полученное извне. Это определение довольно субъективно, т.к. количество информации в одном и том же сообщении различно для людей, имеющих разные знания. Совсем иной смысл имеет информация в смысле Фишера, полностью исключающая из рассмотрения содержательную (смысловую) сторону вопроса. Она связана с ожиданием разрешения какой-либо неопределённости и математически выражается отрицательным логарифмом вероятности какого-либо исхода эксперимента. Чем выше математическое ожидание какого-либо результата эксперимента, тем

меньше новой информации можно извлечь из этого результата. И наоборот, чем выше энтропия S источника информации, тем больше информации можно получить от него.

В процессе решения вопросов математической статистики Р.Фишер рассмотрел общие способы измерения количества информации.

В математической статистике и теории информации информацией Фишера называется дисперсия функции вклада выборки. Эта функция названа в честь описавшего её Р.Фишера.

Пусть $f(\theta, x_1, \dots, x_n)$ - плотность распределения для данной статистической модели. Тогда если определена функция

$$I_n(\theta) = E_\theta \left(\frac{\partial L(\theta, x_1, \dots, x_n)}{\partial \theta} \right)^2, \quad L = \sum_{i=1}^n \ln f(\theta, x_i), \quad (1)$$

где $Lf(\theta, x_1, \dots, x_n)$ - логарифмическая функция правдоподобия, а E_θ - математическое ожидание при данном θ , то она называется информацией Фишера для данной статистической модели при n независимых испытаниях.

Для регулярных моделей: $E_\theta \left(\frac{\partial L(\theta, x_1, \dots, x_n)}{\partial \theta} \right) = 0$ (В этом и состоит определение регулярности).

В этом случае, поскольку математическое ожидание функции вклада выборки равно нулю, выписанная величина равна её дисперсии. Фишеровским количеством информации, содержащемся в одном наблюдении называют:

$$I_i(\theta) = E_\theta \left(\frac{\partial \ln f(\theta, x_i)}{\partial \theta} \right)^2. \quad (2)$$

Для регулярных моделей все $I_i(\theta)$ равны между собой.

Если выборка состоит из одного элемента, то информация Фишера записывается так:

$$I_i(\theta) = E_\theta \left(\frac{\partial \ln f(\theta, x)}{\partial \theta} \right)^2. \quad (3)$$

Из условия регулярности, а также из того, что в случае независимости случайных величин дисперсия суммы равна сумме дисперсий, следует, что для n независимых испытаний $I_n(\theta) = nI_i(\theta)$. Из указанного выше свойства дисперсий следует, что в случае независимости случайных величин $\xi_1(\theta, x), \dots, \xi_n(\theta, x)$ (рассматриваемых в одной статистической модели) информация Фишера их суммы равна сумме информации Фишера каждой из них. Обозначим информацию Фишера для случайной величины $\xi(\theta, x)$ через $I^\xi(\theta)$. Если $T(\xi)$ — статистика, для которой определена информация Фишера, то $I^{T(\xi)} \leq I^\xi$.

Информация Фишера может быть связана с энтропией.

1.2 Количество информации по Найквисту, теорема Котельникова-Найквиста

В 1924 американский инженер шведского происхождения Х. (Гарри) Найквист предложил измерять количество информации, приходящейся на одну букву передаваемого по каналу связи текста, величиной $1/n$, где n — число букв в используемом языке. Найквист так же установил, что обратимая дискретизация аналогового сигнала возможна, если использовать частоту дискретизации, превышающую наибольшую из частот компонент, по крайней мере вдвое (частота Найквиста). Этот факт сыграл существенную роль при разработке теории информации К.Шенноном (теорема отсчётов Найквиста-Шеннона).

Гарри Найквист (1889-1976) - один из пионеров теории информации. Будучи инженером в Лаборатории Белла, провёл важные исследования по теории теплового шума, устойчивости обратной связи в усилителях, телеграфии, факсимильной передачи, телевидения и других важных телекоммуникационных проблем. С Г.И. Ивсом в 1924 разработал первый факсимильный аппарат АТ&Т. Ранние работы Найквиста по определению ширины частотного диапазона, требуемого для передачи информации заложили основы для последующих успехов К.Шеннона в разработке теории информации. В 1927 определил, что число независимых пульсов, которые могут быть переданы в единицу времени без искажений, ограничено двойной шириной частотного диапазона канала связи. Это правило сопряжено с известной теоремой Найквиста-Шеннона. (Сходные результаты получены русским учёным Котельниковым и в русскоязычной литературе называются теоремой Котельникова).

Частота Найквиста — в цифровой обработке сигналов частота, равная половине частоты дискретизации. Из теоремы Котельникова следует, что при дискретизации сигнала полезную информацию будут нести только частоты ниже частоты Найквиста. Частоты выше частоты Найквиста являются зеркальным отображением нижних частот. Если спектр сигнала не имеет составляющих выше частоты Найквиста, то он может быть оцифрован и затем восстановлен без искажений.

$\omega_s = \frac{\pi}{T}$ К примеру, в аудио компакт-дисках используется частота дискретизации 44100 герц. Частота

Найквиста для них - 22050 герц, она ограничивает верхнюю полосу частот, до которой звук может быть воспроизведён без искажений. Но это - теоретический предел. На практике есть некоторые нюансы. При оцифровке аналогового сигнала с широким спектром необходимо обеспечить срез спектра аналогового сигнала на частоте Найквиста при помощи фильтра очень высокого порядка, чтобы избежать зеркального отражения спектра для частот, лежащих выше частоты Найквиста. Практическая реализация такого фильтра весьма сложна, так как амплитудно-частотные характеристики фильтров имеют не прямоугольную, а колоколообразную форму и образуется некоторая полоса "затухания". Поэтому максимальную частоту спектра дискретизируемого сигнала принимают несколько ниже частоты Найквиста, чтобы обеспечить надёжное подавление фильтром спектра дискретизируемого сигнала.

Теорема Котельникова (в англоязычной литературе - *теорема Найквиста*, в прочей – *теорема Котельникова-Найквиста*, 1933) гласит, что, если аналоговый сигнал $x(t)$ имеет ограниченный спектр, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой более удвоенной максимальной частоты спектра ω_{max} : $f_{дискр} > 2F_{max}$, где F_{max} - верхняя частота в спектре, или (формулируя по-другому) по отсчётам, взятым с периодом чаще полупериода максимальной частоты спектра F_{max} : $T < \frac{1}{2F_{max}}$. Другими словами: для дискретизации аналогового сигнала без потери

информации частота отсчетов должна быть в два раза выше верхней граничной частоты спектра сигнала.

Владимир Котельников (1908 - 2005) в 1926 поступил на Электротехнический факультет Московского высшего технического училища имени Н. Э. Баумана (МВТУ), но стал выпускником Московского энергетического института (МЭИ), который выделился из МВТУ как самостоятельный институт. Во время обучения в аспирантуре (1931-1933) Котельников доказал «теорему отсчётов», которая впоследствии была названа его именем. После окончания аспирантуры в 1933 Котельников, оставаясь преподавать в МЭИ, поступил на работу в Центральный научно-исследовательский институт связи (ЦНИИС). В 1941 сформулировал положение о том, каким требованиям должна удовлетворять математически недешифруемая система и дал доказательство невозможности её дешифровки. В 1944 Котельников занял должность профессора, декана радиотехнического факультета МЭИ, где проработал до 1980. В 1953 стал академиком. С 1968 по 1990 Котельников - профессор, зав. кафедрой МИФИ.

Такая трактовка рассматривает *идеальный случай*, когда сигнал начался бесконечно давно и никогда не закончится, а также не имеет во временной характеристике точек разрыва. Именно это подразумевает понятие «*спектр, ограниченный частотой F_{max}* ». Разумеется, реальные сигналы (например, звук на цифровом носителе) не обладают такими свойствами, так как они конечны по времени и, обычно, имеют во временной характеристике разрывы. Соответственно, их спектр *бесконечен*. В таком случае полное восстановление сигнала невозможно и из теоремы Котельникова вытекает два следствия:

- Любой аналоговый сигнал может быть восстановлен с какой угодно точностью по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой $f > F_{max}$, где F_{max} - максимальная частота, которой мы ограничили спектр реального сигнала.

- Если максимальная частота в сигнале превышает половину частоты прерывания, то способа восстановить сигнал из дискретного в аналоговый без искажений не существует.

Говоря шире, теорема Котельникова утверждает, что непрерывный сигнал можно представить в виде следующего ряда:

$$\sum x(k\Delta t) \frac{\sin(\pi F_D(t - k\Delta t))}{\pi F_D(t - k\Delta t)}. \quad (4)$$

Под интегральной суммой написана формула отсчётов функции $x(t)$. Мгновенные значения этой функции есть значения дискретизированного сигнала в каждый из моментов времени.

Содержание теоремы Котельникова формулируется так: непрерывная функция времени, не содержащая в своём спектре частот свыше ω_m , полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, следующих с частотой

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\Delta t} \geq 2\omega_m. \quad (5)$$

1.3 Интерпретация Сциллардом парадокса «демон Масвелла»

Ещё до интенсивного проникновения термина «информация» в науку Лео Сциллард в 1929 выполнил исследование термодинамического парадокса, известного под названием «демон Максвелла», информационными по своей сути методами.

Лео Сциллард (1898-1964) - американский физик венгерского происхождения. Известен своими трудами в области ядерной физики. В 1934 обнаружил эффект разрушения химической связи под воздействием нейтронов, который получил известность как эффект Сцилларда-Чалмерса. В 1939 наряду с другими показал возможность осуществления цепной ядерной реакции при делении ядер урана. Вместе с Энрико Ферми определил критическую массу ^{235}U и

принял участие в создании первого ядерного реактора. В 1942-1946 как сотрудник Металлургической лаборатории Чикагского университета принимал участие в проекте «Манхэттен».

Сциллард впервые указал на связь энтропии и информации (и, по существу, использовал количественную меру её, соответствующую много лет спустя предложенной Шенноном). Подробно анализируя упрощенную модель, развивающую описанную Максвеллом, Сциллард показал, что для любого упорядочения молекул следует получить информацию об их координатах (или скоростях), т. е. произвести измерение. Получение информации связано с ростом энтропии в системе, по крайней мере не меньшим, чем её уменьшение за счёт упорядочения молекул.

Подробнее демоном Максвелла мы займёмся в следующей лекции.

1.4 Количество информации по Хартли

Комбинаторное определение количества информации, исторически появившееся первым, характеризуется использованием математических функций, оперирующих с конечными множествами элементов, образующих какое-либо сообщение или систему. Основоположителем данного направления в теории информации принято считать американского инженера Р. Хартли, который в своей статье «Передача информации» (1928), при сравнении пропускной способности различных технических систем связи, предложил использовать для количественного определения информации логарифмическую функцию, связав при этом понятие информации с осуществлением выбора из множества возможностей

Р.Хартли заложил основы теории информации, определив меру количества информации для некоторых задач. Он, ради соблюдения принципа аддитивности, определил количество информации через логарифм этой величины.

Ральф. Хартли (1888-1970) – американский учёный и инженер. В ходе Первой мировой войны, Хартли решил проблемы, которые препятствовали развитию направленных искателей звукового типа. После войны вплотную занялся проблемой передачи информации (в частности звуковой). Сформулировал закон, *«общая сумма информации, которая может быть передана, пропорциональна переданному частотному диапазону и времени передачи»*. Хартли - пионер в области Информационной Теории. Он ввёл понятие «информации» как случайная переменная и был первый, кто попытался определить «меру информации». Хартли развивал понятие информации, основанное на «физическом как противопоставлено с психологическими рассмотрениями» для использования в изучении электронных коммуникаций. Он обращается к «точности информации» и «количества информации». Информация существует в передаче символов, с символами, имеющими «определенные значения к партийному сообщению». Когда кто - то получает информацию, каждый полученный символ позволяет получателю «устранять возможности», исключая другие возможные символы и их связанные значения. Точность информации зависит от того, что другие последовательности символа, возможно, были выбраны; мера этих других последовательностей обеспечивает признак количества переданной информации. Тогда можно взять «как наша практическая мера информации логарифм числа возможных последовательностей символа». Таким образом, если бы мы получили 4 различных символа, происходящие с равной частотой, то это представило бы 2 бита.

В подходе Хартли процесс получения информации рассматривается как выбор одного сообщения из конечного наперёд заданного множества из N равновероятных сообщений, а количество информации I , содержащееся в выбранном сообщении, определял как двоичный логарифм N .

$$I = \log_2 N, \quad (6)$$

где K - количество равновероятных событий; I - количество бит в сообщении, такое, что любое из K событий произошло. Тогда $N=2^I$.

Если $N = 2$ (выбор из двух возможностей), то $I = 1$ бит (см. ниже).

Замечание. Основание логарифма в выражении (6) может быть любым: оно определяется выбором единицы измерения информации. (В теории информации принято использовать логарифм по основанию два, а соответствующую единицу называть *битом*.)

Отметим, что двоичный логарифм Хартли (1) часто интерпретируется как энтропия множества равновероятных возможностей, которая снимается в виде информации при осуществлении одной из них. Более того, рассмотрение комбинаторного подхода к определению количества информации иногда начинается именно с определения H как энтропии. (Так, например, делал академик А.Н. Колмогоров).

В этом случае формулу Хартли записывают так:

$$I = \log_2 N = \log_2 (1/p) = -\log_2 p, \quad (7)$$

т. к. каждое из N событий имеет равновероятный исход $p = 1/N$, то $N = 1/p$.

Замечание. Знак «минус» в формуле (*) появился из-за того, что вероятность P всегда меньше единицы и логарифм от неё отрицателен. Это вовсе не означает, что информация отрицательна!

Подход Р.Хартли основан на весьма фундаментальных теоретико-множественных, по существу комбинаторных основаниях, а также нескольких интуитивно ясных и вполне очевидных предположениях.

Рассмотрим эти предположения. Будем считать, что если существует множество элементов и осуществляется выбор одного из них, то этим самым сообщается или генерируется определенное количество информации. Эта информация состоит в том, что если до выбора не было известно, какой элемент будет выбран, то после выбора это становится известным. Найдем вид функции, связывающей количество информации, получаемой при выборе некоторого элемента из множества, с количеством элементов в этом множестве, т.е. с его мощностью. Если множество элементов, из которых осуществляется выбор, состоит из одного–единственного элемента, то ясно, что его выбор предопределен, т.е. никакой неопределенности выбора нет. Таким образом, если мы узнаем, что выбран этот единственный элемент, то, очевидно, при этом мы не получаем никакой новой информации, т.е. получаем нулевое количество информации.

Если множество состоит из двух элементов, то неопределенность выбора минимальна. В этом случае минимально и количество информации, которое мы получаем, узнав, что совершен выбор одного из элементов. Чем больше элементов в множестве, тем больше неопределенность выбора, тем больше информации мы получаем, узнав о том, какой выбран элемент. Из этих очевидных соображений следует первое требование: информация есть монотонная функция от мощности исходного множества.

Рассмотрим множество, состоящее из чисел в двоичной системе счисления длиной I двоичных разрядов, причём каждый из разрядов может принимать значения только 0 и 1.

Табл. 1. К Выводу формулы количества информации по Р.Хартли

Количество двоичных разрядов (i)	Количество состояний, которое можно пронумеровать i -разрядными двоичными числами (N)	Основание системы счисления		
		10	16	2
1	2	0 1	0 1	0 1
2	4	0 1 2 3	0 1 2 3	00 01 10 11
3	8	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	000 001 010 011 100 101 110 111
4	16	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F	0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111
***	***			
i	2^i			

Очевидно, количество этих чисел (элементов) в множестве равно:

$$N = 2^i. \quad (8)$$

Рассмотрим процесс выбора чисел из рассмотренного множества. До выбора вероятность выбрать любое число одинакова. Существует объективная неопределенность в вопросе о том, какое число будет выбрано. Эта неопределенность тем больше, чем больше N – количество чисел в множестве, а чисел тем больше – чем больше разрядность i этих чисел.

Примем, что выбор одного числа дает нам следующее количество информации:

$$i = \text{Log}_2(N). \quad (9)$$

Таким образом, количество информации, содержащейся в двоичном числе, равно количеству двоичных разрядов в этом числе.

Это выражение и представляет собой формулу Хартли для количества информации. Отметим, что оно полностью совпадает с выражением для энтропии (по Эшби), которая рассматривалась им как количественная мера степени неопределенности состояния системы.

При увеличении длины числа в два раза количество информации в нем также должно возрасти в два раза, несмотря на то, что количество чисел в множестве возрастает при этом по показательному закону (в квадрате, если числа двоичные), т.е. если

$$N_2 = (N_1)^2, \quad (10)$$

то

$$I_2 = 2 * I_1, \quad (11)$$

$$F(N_1 * N_1) = F(N_1) + F(N_1). \quad (12)$$

Это невозможно, если количество информации выражается линейной функцией от количества элементов в множестве. Но известна функция, обладающая именно таким свойством: это Log :

$$\text{Log}_2(N_2) = \text{Log}_2(N_1)^2 = 2 * \text{Log}_2(N_1). \quad (13)$$

Это второе требование называется требованием аддитивности.

Таким образом, логарифмическая мера информации, предложенная Хартли, одновременно удовлетворяет условиям монотонности и аддитивности.

Формула Хартли позволяет измерить количество информации в случае равновероятных событий. Поясним её вывод на простом примере. Попутно установим связь между технической информацией и информационной энтропией.

Количество информации обычно обозначают символом I , вероятность - символом P . Напомним, что суммарная вероятность полной группы событий равна 1.

Рассмотрим в качестве примера опыт, связанный с бросанием правильной игральной кости, имеющей N граней (наиболее распространенным является случай шестигранной кости: $N = 6$). Результаты данного опыта могут быть следующие: выпадение грани с одним из следующих знаков: 1, 2, ..., N . Введём в рассмотрение численную величину, измеряющую неопределенность - **энтропию** (обозначим её H).

Замечание. Мы обозначаем здесь энтропию буквой H , чтобы подчеркнуть, что техническая (информационная) энтропия не имеет никакого отношения (несмотря на чисто внешнее сходство формул) к термодинамической энтропии S .

Величины N и H связаны между собой некоторой функциональной зависимостью:

$$H = f(N), \quad (14)$$

а сама функция f является возрастающей, неотрицательной и определенной для $N = 1, 2, \dots, 6$.

Рассмотрим процедуру бросания кости более подробно:

- 1) готовимся бросить кость; исход опыта неизвестен, т.е. имеется некоторая неопределенность; обозначим её H_1 ;
- 2) кость брошена; информация об исходе данного опыта получена; обозначим количество этой информации через I ;
- 3) обозначим неопределенность данного опыта после его осуществления через H_2 . За количество информации, которое получено в ходе осуществления опыта, примем разность неопределенностей «до» и «после» опыта:

$$I = H_1 - H_2 \quad (15)$$

Очевидно, что в случае, когда получен конкретный результат, имевшаяся неопределенность снята ($H_2=0$), т.е. количество полученной информации совпадает с первоначальной энтропией. Иначе говоря, неопределенность, заключенная в опыте, совпадает с информацией об исходе этого опыта. Заметим, что значение H_2 могло быть и не равным нулю, например, в случае, когда в ходе опыта следующей выпала грань со значением, большим «3».

Следующим важным моментом является определение вида функции f в формуле (1). Если варьировать число граней N и число бросаний кости (обозначим эту величину через M), общее число исходов (векторов длины M , состоящих из знаков 1, 2, ..., N) будет равно N в степени M :

$$X = N^M. \quad (16)$$

Так, в случае двух бросаний кости с шестью гранями имеем: $X=6^2=36$. Фактически каждый исход X есть некоторая пара (X_1, X_2) , где X_1 и X_2 – соответственно исходы первого и второго бросаний (общее число таких пар – X).

Ситуацию с бросанием m раз кости можно рассматривать как некую сложную систему, состоящую из независимых друг от друга подсистем – «однократных бросаний кости». Энтропия такой системы в m раз больше, чем энтропия одной системы (так называемый «принцип аддитивности энтропии»):

$$f(6^m) = m \cdot f(6) \quad (17)$$

Данную формулу можно распространить и на случай любого N :

$$F(N_m) = m \cdot f(N) \quad (18)$$

Прологарифмируем левую и правую части формулы (18): $\ln X = m \cdot \ln N$, $m = \ln X / \ln N$. Подставив полученное для M значение в формулу (6), получим:

$$f(x) = \frac{\ln X}{\ln m} \cdot f(N) \quad (19)$$

Если K - положительная константа, то: $f(X) = K \cdot \ln X$, или, с учетом (1), $H = K \cdot \ln N$. Обычно принимают $K = 1/\ln 2$. Таким образом

$$H = \log_2 N. \quad (20)$$

или

$$I = \log_2 N$$

Это – формула Р. Хартли (1928). Она связывает количество равновероятных состояний (N) и количество информации в сообщении (I), что любое из этих состояний реализовалось. Её смысл в том, что, если некоторое множество содержит N элементов и x принадлежит данному множеству, то для его выделения (однозначной идентификации) среди прочих требуется количество информации, равное $\log_2 N$.

Минимальное количество информации получается при выборе одного из двух равновероятных вариантов. Это количество информации принято за единицу измерения и называется «бит».

При введении какой-либо величины важный вопрос: что принимать за единицу её измерения? Очевидно, $H=1$ при $N=2$, т.е. в качестве единицы принимается количество информации, связанное с проведением опыта, состоящего в получении одного из двух равновероятных исходов (примером такого опыта может служить бросание монеты, при котором возможны два исхода: «орел», «решка»).

Такая единица количества информации называется «бит».

Бит (*bit, от binary - двоичный digit – знак*), двоичная единица, в теории информации единица количества информации. Бит в вычислительной технике – двоичная цифра, двоичный разряд. Число битов в памяти компьютера определяет максимальное количество цифр, вмещаемых ею; число битов данных есть количество двоичных разрядов, в которых они записаны.

В заключение отметим, что последующее развитие вероятностного подхода отодвинуло в тень чисто комбинаторный подход определения количества информации, за внешней простотой которого потенциально скрываются нетривиальные решения различных информационных проблем.

1.5 Энтропия Неймана

В 1932 в книге «Математические основы квантовой механики» Дж. фон Нейман ввёл своё определение энтропии. Используя матрицу плотности он получил квантовый аналог классической формулы для энтропии и тем самым заложил основы квантовой термодинамики, а позднее сформулировал и доказал для квантовых систем Н-теорему и эргодическую теорему. (Как оказалось впоследствии энтропия Неймана - квантовый аналог энтропии Шеннона из классической теории информации).

Матрица плотности (оператор плотности) - один из способов описания состояния квантовомеханической системы. В отличие от волновой функции, пригодной лишь для описания чистых состояний, оператор плотности в равной мере может задавать как чистые, так и смешанные состояния. Основанный на понятии оператора плотности формализм был предложен Дж. фон Нейманом и независимо Л.Д.Ландау и Ф.Блохом в 1927.

НЕЙМАН, Джон фон (1903–1957), американский математик. Родился в Будапеште. В 1926 окончил Будапештский университет. Продолжил математические исследования в Гёттингене, Берлине и Гамбурге. В 1931–1933 работал в Принстонском университете – вначале в качестве лектора, а затем профессора математической физики. В 1933 перешел в Институт перспективных исследований в Принстоне; оставался профессором этого института до конца жизни. Во время Второй мировой войны Нейман принимал участие в различных оборонных проектах, в т.ч. в создании атомной бомбы. Нейман внес значительный вклад в развитие многих областей математики. Ему принадлежит строгая математическая формулировка принципов квантовой механики, в частности её вероятностная интерпретация; его труд *Математические основы квантовой механики*, 1932 считается классическим. В 1932 Нейман доказал эквивалентность волновой и матричной механики. Исследование оснований квантовой механики побудило его к более глубокому изучению теории операторов и созданию теории неограниченных операторов. Он один из создателей теории игр – области математики, которая занимается изучением ситуаций, связанных с принятием оптимальных решений. Занимался теорией вычислительных машин и аксиоматической теорией автоматов. Им разработаны принципы действия компьютеров.

В квантовой теории информации энтропия фон Неймана непосредственно связывает информацию с энергией Энтропия фон-Неймана. S определяется через матрицу плотности ρ (которая всегда может быть выражена в энергетическом представлении) в виде следа от произведения матрицы плотности и её логарифма:

$$S(\rho) = -T_r\{\rho \cdot \log \rho\}. \quad (21)$$

Энтропия фон-Неймана является основной физической характеристикой информационного процесса и определяет, во-первых, минимальное число **кубитов** (квантовых битов) на одну букву передаваемой информации, необходимое для надежного декодирования передаваемой информации, во-вторых, определяет не только квантовую, но и классическую информацию, приходящуюся на одну букву уже в битах (не кубитах), которую мы можем получить из сообщения, при наилучшем возможном измерении. Информация в терминах энтропии фон-Неймана позволяет учитывать свойства запутанных состояний. Одно из основных свойств этого понятия заключается в том, что об объекте, находящемся в чистом **запутанном состоянии** ($\rho = \rho^2$), невозможно получить никакой информации, поскольку в этом случае из (8) следует $S(\rho) = 0$.

«Для классического наблюдателя, знающего все импульсы и координаты, энтропия постоянна, а именно равна нулю, так как больцманова термодинамическая вероятность равна тогда 1».

Кубит (q-бит, кьюбит; от *quantum bit*) — квантовый разряд или наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере. Как и бит, кубит допускает два собственных состояния, обозначаемых, но при этом может находиться и в их суперпозиции. При любом измерении состояния кубита он случайно переходит в одно из своих собственных состояний. Кубиты могут быть «запутаны» друг с другом, то есть, на них может быть наложена ненаблюдаемая связь, выражающаяся в том, что при всяком измерении над одним из нескольких кубитов, остальные меняются согласованно с ним. То есть, совокупность запутанных между собой кубитов может интерпретироваться как заполненный квантовый регистр. Как и отдельный кубит, квантовый регистр гораздо более информативен. Он может находиться не только во всевозможных комбинациях составляющих его битов, но и реализовывать всевозможные тонкие зависимости между ними. Несмотря на то, что мы сами не можем непосредственно наблюдать состояние кубитов и квантовых регистров во всей полноте, между собой они могут обмениваться своим состоянием и могут его преобразовывать. Тогда есть возможность создать компьютер, способный к параллельным вычислениям на уровне своего физического устройства и проблемой остаётся лишь прочесть конечный результат вычислений.

Запутанное состояние (*entangled state*) - состояние составной системы, которую нельзя разделить на отдельные, полностью самостоятельные и независимые части. Оно является **несепарабельным** (неразделимым). Запутанность - особый тип взаимосвязи между составными частями системы, у которой нет аналога в классической физике. Эта связь противоестественна, немыслима с точки зрения классических представлений о реальности и выглядит магической в прямом смысле этого слова. Квантовая запутанность - состояние неразрывной целостности, единства. Когда квантовая теория обогатилась пониманием того, что квантовая запутанность - это обычная физическая величина, и с ней можно работать, как с другими физическими величинами, такими как энергия, масса и т. д., то возникла необходимость в ее количественном описании. Запутанные состояния нужно было охарактеризовать по величине (степени) запутанности.

В простейшем случае речь идет о системе, состоящей из двух взаимодействующих подсистем (например, частиц), которая в какой-то момент времени распадается на две не взаимодействующие подсистемы. Для такого запутанного состояния значение какой-либо физической величины (например, проекции спина электрона на какую-то ось или поляризации фотона) не определено ни для одной из подсистем. Однако, если мы произведем измерение над одной из подсистем и определим значение выбранной физической величины, то мы с достоверностью будем знать значение этой физической величины и для другой подсистемы.

2. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ТЕОРИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Под теорией информации обычно понимают раздел прикладной математики, определяющий понятие информации и её свойства. Фактически — это математическая теория связи, занимающейся передачей данных. Она использует математический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Основные разделы теории информации - кодирование источника (сжимающее кодирование) и канальное (помехоустойчивое) кодирование. Теория информации тесно связана с криптографией и другими смежными дисциплинами.

Теория информации – раздел математики, исследующий процессы хранения, преобразования и передачи информации. В основе его лежит определенный способ измерения количества информации. Возникшая из задач теории связи, теория информации иногда рассматривается как математическая теория систем передачи информации. Теория информации устанавливает основные границы возможностей систем передачи информации, задает исходные принципы их разработки и практического воплощения.

2.1 Информация Шеннона

Интенсивное развитие теории информации вообще и углубленное исследование вопроса об измерении ее количества в частности началось в 1948 после опубликования работ американского инженера Клода Шеннона.

Клод Элвуд Шеннон (1916 -2001) – американский математик и электротехник, один из создателей математической теории информации, в значительной мере предопределил своими результатами развитие общей теории дискретных автоматов, которые являются важными составляющими кибернетики. В 1948 году опубликовал фундаментальную работу *A Mathematical Theory of Communication*, в которой сформулированы основы теории информации. Большую ценность представляет другая работа - *Communication Theory of Secrecy Systems* (1949), в которой сформулированы математические основы криптографии.

Клод Шеннон рассматривал описание передачи информации как строгую задачу математической статистики. Им были сформулированы и доказаны такие важные теоремы, как прямая и обратная теоремы Шеннона для источника общего вида – о связи энтропии источника и средней длины сообщений, прямая и обратная теоремы Шеннона для источника без памяти - о связи энтропии источника и достижимой степени сжатия с помощью кодирования с потерями и последующего неоднозначного декодирования, прямая и обратная теоремы Шеннона для канала с шумами - о связи пропускной способности канала и существования кода, который возможно использовать для передачи с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока), теорема отсчётов Уитакера-Найквиста-Шеннона (теорема Котельникова) - об однозначном восстановлении сигнала по своим дискретным отсчётам.

Замечание. В теории информации, утверждения типа «для любого кода имеет место некоторое свойство» называются обратными теоремами, а утверждения типа «Существует код с заданным свойством» - прямыми теоремами.

Шеннон ввёл термин «информация» в узком техническом смысле, применительно к теории связи или передачи кодов. Он воспользовался тем, что часто можно пренебречь качественными особенностями информации, выразить её количество числом, а также сравнить количество информации, содержащейся в различных группах данных. Информацию, содержащуюся в сообщении, можно нестрого трактовать в смысле её новизны или, иначе, уменьшения неопределённости наших знаний об объекте. Важно, что рамках теории связи удалось получить формулы для вычисления количества информации и технической энтропии.

Замечание. Называя функцию H «энтропия множества вероятностей», Шеннон комментировал это следующим образом: «Меня больше всего беспокоило, как назвать эту величину. Я думал назвать её «информацией», но это слово слишком перегружено, поэтому я решил остановиться на «неопределённости». Когда я обсуждал все это с Джоном фон Нейманом, тот предложил лучшую идею. Фон Нейман сказал мне: «Вам следует назвать ее энтропией по двум причинам. Во-первых, ваша функция неопределённости использовалась в статистической механике под этим названием, так что у неё уже есть имя. Во-вторых, и это важнее, никто не знает, что же такое эта энтропия на самом деле, поэтому в споре преимущество всегда будет на вашей стороне». Поэтому Шеннон использовал термин энтропия сообщения вместо термина неопределённость сообщения. Надо сказать, что это окончательно запутало ситуацию, причём так, что её до сих пор распутать не удалось и в этом веке вряд ли удастся. Да и что такое энтропия так до сих пор никто и не понял...

Отметим, что простейший способ измерения информации является алфавитный подход - объективный подход к измерению информации. Он удобен при использовании технических средств работы с информацией, т.к. не зависит от содержания сообщения (информация как сообщения в форме знаков или сигналов, хранимых, передаваемых и обрабатываемых с помощью технических устройств). Количество информации зависит от объема текста и мощности алфавита. Способ основан на подсчете числа символов в сообщении, т. е. связан только с длиной сообщения и не учитывает его содержания



Шеннон проповедовал вероятностный подход к измерению информации (информация как снятая неопределённость). Все события происходят с различной вероятностью, но зависимость между вероятностью событий и количеством информации, полученной при совершении того или иного события можно выразить формулой Шеннона. Получение информации (её увеличение) одновременно означает увеличение знания, что, в свою очередь, означает уменьшение незнания или информационной неопределённости.

За единицу количества информации принимают выбор одного из двух равновероятных сообщений («да» или «нет», «1» или «0»). Она также названа бит. Очень приближенно можно считать, что количество информации в сообщении о каком-то событии совпадает с количеством вопросов, которые необходимо задать и ответом на которые могут быть лишь «да» или «нет», чтобы получить ту же информацию. Таким образом, если информацию рассматривать как не снятую неопределённость, то количество информации зависит от вероятности получения данного сообщения. Чем больше вероятность события, тем меньше

количество информации в сообщении о таком событии, т.е. количество информации в сообщении о каком-то событии зависит от вероятности свершения данного события.

Упомянутый выше Хартли рассматривал равновероятные события. Однако, существует множество ситуаций, когда возможные события имеют различные вероятности реализации. Например, если монета несимметрична (одна сторона тяжелее другой), то при её бросании вероятности выпадения «орла» и «решки» различаются.

Это обстоятельство учёл К.Шеннон, дав способ измерения количества информации для событий с различными вероятностями.

Рассчитаем величины энтропии в случае неравновероятных исходов опыта (событий). Напомним, что если все исходы равновероятны, то каждый исход вносит в снятие неопределенности одну и ту же лепту. Поскольку общая неопределенность равна $\log_2(k)$, то вклад в неё одного исхода составляет:

$$i(p_1, p_2, \dots, p_N) = p_1 \log_2(p_1) - p_2 \log_2(p_2) - \dots - p_N \log_2(p_N) = -(p_1 \log_2(p_1) + p_2 \log_2(p_2) + \dots + p_N \log_2(p_N))$$

или

$$N_i = - \sum P_k \log_2 P_k, k=1, \quad (22)$$

где i – количество информации; N – количество возможных событий; P_k – вероятность k -го события.

По формуле К. Шеннона количество информации определяется как:

$$I = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (23)$$

где I – количество информации; N – количество возможных событий; p_i – вероятность i -го события.

Энтропия H и количество получаемой в результате снятия неопределенности информации I зависят от исходного количества рассматриваемых вариантов N и априорных вероятностей реализации каждого из них P : $\{p_0, p_1, \dots, p_{N-1}\}$, т.е. $H=F(N, P)$.

Энтропия Шеннона:

$$H = - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \log_2(p_i) = \sum_{i=0}^{N-1} p_i \log_2\left(\frac{1}{p_i}\right) \quad (24)$$

Знак минус в формуле (1) не означает, что энтропия – отрицательная величина. Объясняется это тем, что $p_i \leq 1$ по определению, а логарифм числа меньшего единицы – величина отрицательная. По свойству логарифма $-\log(a) = \log\left(\frac{1}{a}\right)$, поэтому эту формулу можно записать во втором варианте – без минуса перед

знаком суммы. $\log_2\left(\frac{1}{p_i}\right)$ интерпретируется как частное количество информации I_i , получаемое в случае реализации i -ого варианта. Энтропия в формуле Шеннона является средней характеристикой – математическим ожиданием распределения случайной величины $\{I_0, I_1, \dots, I_{N-1}\}$.

В частном случае, когда все варианты равновероятны, остаётся зависимость только от количества рассматриваемых вариантов, т.е. при равновероятных событиях получаемое количество информации максимально – формула Шеннона упрощается и переходит в формулу Хартли.

$$N_i = - \sum 1/N \log_2(1/N) = \log_2 N, k=1 \quad (25)$$

Формула Хартли – частный случай формулы Шеннона для равновероятных альтернатив. Подставив в формулу (6) вместо p_i его (в равновероятном случае не зависящее от i значение $p_i = \frac{1}{N}$), получим:

$$H = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{N} \log_2\left(\frac{N}{1}\right) = \frac{1}{N} \cdot N \cdot \log_2(N) = \log_2(N) \quad (26)$$

таким образом, формула Хартли выглядит очень просто:

$$H = \log_2(N) \quad (27)$$

Из нее явно следует, что чем больше количество альтернатив (N), тем больше неопределенность (H). Эти величины связаны в формуле (27) не линейно, а через двоичный логарифм. Логарифмирование по основанию 2 и приводит количество вариантов к единицам измерения информации – битам.

Энтропия будет являться целым числом лишь в том случае, если N является степенью числа 2, т.е. если N принадлежит ряду: $\{1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, \dots\}$

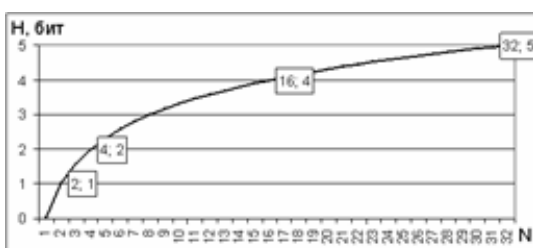


Рис. 1. Зависимость энтропии от количества равновероятных вариантов выбора (равнозначных альтернатив).

Замечание. На всякий случай напомним, что такое логарифм.

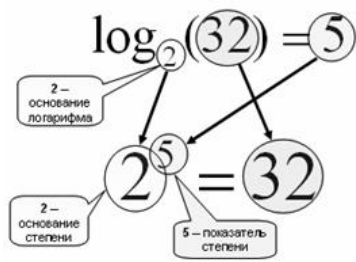


Рис. 2. Нахождение логарифма b по основанию a - это нахождение степени, в которую нужно возвести a , чтобы получить b .

Логарифм по основанию 2 называется двоичным: $\log_2(8)=3 \rightarrow 2^3=8$; $\log_2(10)=3,32 \rightarrow 2^{3,32}=10$; Логарифм по основанию 10 – называется десятичным: $\log_{10}(100)=2 \rightarrow 10^2=100$. Основные свойства логарифма: 1. $\log(1)=0$, т.к. любое число в нулевой степени дает 1; 2. $\log(ab)=b \cdot \log(a)$; 3. $\log(a \cdot b)=\log(a)+\log(b)$; 4. $\log(a/b)=\log(a)-\log(b)$; 5. $\log(1/b)=0-\log(b)=-\log(b)$.

Для решения обратных задач, когда известна неопределенность (H) или полученное в результате ее снятия количество информации (I) и нужно определить какое количество равновероятных альтернатив соответствует возникновению этой неопределенности, используют обратную формулу Хартли, которая выглядит еще проще:

$$N=2^H \quad (28)$$

До сих пор мы приводили формулы для расчета энтропии (неопределенности) H , указывая, что H в них можно заменить на I , потому что количество информации, получаемое при полном снятии неопределенности некоторой ситуации, количественно равно начальной энтропии этой ситуации. Но неопределенность может быть снята только частично, поэтому количество информации I , получаемой из некоторого сообщения, вычисляется как уменьшение энтропии, произошедшее в результате получения данного сообщения.

$$I=H_{до}-H_{после} \quad (29)$$

Для равновероятного случая, используя для расчета энтропии формулу Хартли, получим:

$$I = \log_2(N_{до}) - \log_2(N_{после}) = \log_2\left(\frac{N_{до}}{N_{после}}\right) \quad (30)$$

Второе равенство выводится на основании свойств логарифма. Таким образом, в равновероятном случае I зависит от того, во сколько раз изменилось количество рассматриваемых вариантов выбора (рассматриваемое разнообразие). Исходя из (13) можно вывести следующее:

Если $N_{после}=1$, то $I = \log_2\left(\frac{N_{до}}{1}\right) = \log_2(N_{до}) = H_{до}$ - полное снятие неопределенности, количество полученной

в сообщении информации равно неопределенности, которая существовала до получения сообщения.

Если $N_{после}=N_{до}$, то $I = \log_2(1) = 0$ - неопределенности не изменилась, следовательно, информации получено не было.

Если $N_{после} < N_{до}$, то $\frac{N_{до}}{N_{после}} > 1 \rightarrow I > 0$, если $N_{после} > N_{до}$, $\frac{N_{до}}{N_{после}} < 1 \rightarrow I < 0$. Т.е. количество полученной

информации будет положительной величиной, если в результате получения сообщения количество рассматриваемых альтернатив уменьшилось, и отрицательной, если увеличилось.

Если количество рассматриваемых альтернатив в результате получения сообщения уменьшилось вдвое, т.е. $\frac{N_{до}}{N_{после}} = 2$, то $I = \log_2(2) = 1$ бит. Другими словами, получение 1 бита информации исключает из

рассмотрения половину равнозначных вариантов.

Задача. Доказать что максимальная энтропия по Шеннону достигается при равновероятном распределении $p(i)$.

Решение. Рассмотрим энтропию $H = -\sum(p_i \cdot \log(p_i))$ как функцию n переменных p_i . Тогда необходимым условием максимума будет равенство нулю всех частных производных dH/dp_i . Учитывая, что сумма всех p_i равна 1, можно считать, что $p_n = 1-s$, где $s = \sum(p_i, i=1..n-1)$. Тогда $dH/dp_i = -\log(p_i) + \log(1-s) = 0$ тогда и только тогда, когда $p_i = 1-s$ для всех i , то есть, $p_1 = p_2 = \dots = p_{n-1} = 1-s = p_n$.

Теоремы Шеннона мы рассмотрим в следующей лекции, когда будем рассматривать проблемы передачи информации по каналам связи.

2.2 Информация Винера

Мы плывем вверх по течению, борясь с огромным потоком дезорганизованности, которая в соответствии со вторым законом термодинамики стремится всё свести к тепловой смерти - всеобщему равновесию и одинаковости, т.е. энтропии.

В мире, где энтропия в целом стремится к возрастанию, существуют местные временные островки уменьшающейся энтропии, это области прогресса.

Норберт Винер (1894 – 1964) - американский учёный, выдающийся математик и философ, основоположник кибернетики и теории искусственного интеллекта. Во время Второй мировой войны, занимаясь исследованиями в области противовоздушной обороны, заинтересовался автоматическими расчетами и теорией обратной связи. В 1945 - 47 работал в кардиологическом институте в Мехико. В эти годы у Винера возникла идея о необходимости создания единой науки, изучающей процессы хранения и переработки информации, управления и контроля. Для этой науки Винер предложил название кибернетика. В 1948 опубликовал книгу «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», а затем несколько книг, пропагандирующих новую науку - кибернетику, предметом изучения которой стали управление, связь и обработка информации в технике, живых организмах и человеческом обществе. Вместе с К.Шенноном разработал статистические основы современной теории информации.

Кибернетика [*kybernetike (techne)* - "искусство управления"] - отрасль знания, суть которого была сформулирована Винером как наука "о связи, управлении и контроле в машинах и живых организмах..." в книге "Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине" (1948). В 1959 академик А.Н.Колмогоров писал: "...Сейчас уже поздно спорить о степени удачи Винера, когда он... в 1948 году выбрал для новой науки название *кибернетика*. Это название достаточно установилось и воспринимается как новый термин, мало связанный с греческой этимологией. Кибернетика занимается изучением систем любой природы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования. При этом кибернетика широко пользуется математическим методом и стремится к получению конкретных специальных результатов, позволяющих как анализировать такого рода системы (восстанавливать их устройство на основании опыта обращения с ними), так и синтезировать их (рассчитывать схемы систем, способных осуществлять заданные действия).

Изучая системы связи и управления, исследуя биологические системы, в которых процессы управления и принцип «обратной связи» играют весьма большую роль, Винер дал представление об общих принципах построения и функционирования управляющих систем, о решающей роли информации во всех этих системах вне зависимости от их природы. Существенным здесь явился взгляд на мир как на вероятностно-статистическую систему.

Согласно Винеру информация – это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему наших чувств.

В отличие от Шеннона, использовавший вероятностный подход к определению количества информации в **дискретных** средах, Н.Винер применил вероятностный подход к измерению информации для случая **непрерывных** сред.

Н. Винера интересовал вопрос, почему количество информации и энтропия связаны. Он пришёл к простому выводу: потому что они характеризуют реальность, действительность со своеобразных позиций, со своей собственной точки зрения энтропия и информация рассматривают мир в соотношении хаоса и упорядоченности. Винер так и говорит: энтропия - мера хаоса, количество информации - мера упорядоченности.

С этого времени количество информации, отождествляемое Винером с отрицательной энтропией (негэнтропией), становится, подобно количеству вещества или энергии, одной из фундаментальных характеристик явлений природы. Введение понятия энтропии в теорию информации явилось, по выражению Луи де Бройля, «наиболее важной и красивой из идей, высказанных кибернетикой», и рассматривается как большой вклад в научную мысль. Отсюда - толкование кибернетики как теории организации, теории борьбы с мировым хаосом, с роковым возрастанием энтропии. Такое понимание энтропии нашло отражение и в современной концепции спирали развития, как мысленной модели процессов самоорганизации.

Для кибернетики центральное значение имеет понятие «информация», которая, по Винеру, является обозначением «... содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств...». Для Винера информация - знание, имеющее одну ценностную меру по отношению к внешней среде (семантика) и другую ценностную меру по отношению к накопленным получателем знаниям, целям познания (прагматика). Он интерпретировал любую информацию, вне зависимости от её конкретного содержания и назначения, как выбор между двумя или более значениями, наделенными известными вероятностями, что позволило начать исследования всех процессов при помощи единого аппарата математической статистики. В кибернетике «связь» - это процессы восприятия информации, её хранения и передачи; «управление» - это процессы переработки воспринятой информации в сигналы, корректирующие функционирование кибернетической системы. Если система в состоянии самостоятельно воспринимать и применять информацию о результатах своего функционирования, то такая система обладает средствами обратной связи, причём переработку такого рода информации в сигналы, корректирующие функционирование системы, в кибернетике называют «регулирующим». Осуществляющие управление элементы кибернетической системы рассматриваются исключительно как носители информации.

Определяющее значение имеет в кибернетике понятие «количество информации», введенное Шенноном. Количество информации является, как и количество вещества, и количество энергии, одной из фундаментальных характеристик явлений природы. Второе основание кибернетики - интерпретация её Винером как теории организации, теории борьбы с мировым Хаосом, с возрастанием энтропии. Функционирующий элемент кибернетической системы воспринимает информацию из внешней среды и применяет её для выбора адекватного поведения. По Винеру, информация никогда не создается, она только передаётся и принимается, но при этом искажается «шумом» (помехами) на пути к объекту и внутри его; и для этого объекта может быть потеряна. Борьба с энтропией - это борьба с «шумом», искажением информации. В кибернетике постулирован принцип единства информации и управления. Процесс управления в таких системах является процессом переработки некоторым центральным устройством информации, получаемой от сенсор-рецепторов (источников первичной информации) и передачи её туда, где она будет восприниматься как требование выполнения определенного действия. По завершении этого действия сенсор-рецепторы приводятся в готовность к передаче информации об изменении ситуации для исполнения следующего управленческого цикла. Главная роль в движении информации по системе и данном циклическом алгоритме управления принадлежит содержанию информации, передаваемой сенсор-рецепторами и центральным устройством. Категория "управление" является базисной категорией кибернетики.

2.3 Принцип Эшби

Уильям Росс Эшби (1903-1972) - английский психиатр, специалист по кибернетике, пионер в исследовании сложных систем. Окончил Кембриджский университет; с 1930 работал психиатром. Сформулировал закон необходимого разнообразия.

Введённые выше понятия «вероятность», «неопределенность», с которыми связано понятие информации, предполагают процесс выбора. Этот процесс может быть осуществлен только при наличии множества возможностей. Без этого условия, как можно предположить, передача информации невозможна.

Рассмотрим пример Р.Эшби. Заключение должно навестить жена. Сторож знает, что она хочет сообщить мужу, пойман ли его сообщник. Ей не разрешено делать никаких сообщений. Но сторож подозревает, что они договорились о каком-то условном знаке. Вот она просит послать мужу чашечку кофе. Как сторож может добиться, чтобы сообщение не было передано? Он рассуждает так: может быть, она условилась передать ему сладкий чай или несладкий кофе, тогда я могу помешать им, добавив в кофе сахару и сказав об этом заключенному. Может быть, она условилась послать или не послать ему ложку, тогда я могу изъять ложку и сказать ему, что передача ложек воспрещена. Она может послать ему не кофе, а чай, но все знают, что в это время выдаётся только кофе. И сторож, стремясь пресечь всякую возможность связи, сводит всё возможности к одной – только кофе, только с сахаром, только без ложки. Если все возможности сведены к одной, связь прерывается, и посылаемый напиток лишён возможности передать информацию.

Р.Эшби осуществил переход от толкования информации как «снятой» неопределенности к «снятой» неразличимости. Он считал, что информация есть там, где имеется (дано или выявляется) разнообразие, неоднородность. В данном случае единицей измерения информации может быть элементарное различие, т.е. различие между двумя объектами в каком-либо одном фиксированном свойстве. Чем больше в некотором объекте отличных (в строго определенном смысле) друг от друга элементов, тем больше этот объект содержит информации. Информация есть там, где имеется различие хотя бы между двумя элементами. Информации нет, если элементы неразличимы.

В середине 50-х годов, используя материал статистической теории информации, Р.Эшби изложил концепцию разнообразия, согласно которой под разнообразием следует подразумевать характеристику элементов множества, заключающуюся в их несовпадении. Так, множество, в котором все элементы одинаковы (допустим, это последовательность а, а, а, и т.д.), по мнению Эшби, не имеет «никакого» разнообразия, ибо все его элементы одного типа. Если разнообразие его измерить логарифмически, то получим логарифм единицы (единица означает однотипность элементов множества) – нуль. Множество с таким разнообразием соответствует единичной вероятности выбора элемента, т.е. какой элемент множества не был бы выбран, он будет одного и того же типа. Суть концепции разнообразия, по Эшби, заключается в утверждении, что теория информации изучает процессы «передачи разнообразия» по каналам связи, причем «информация не может передаваться в большем количестве, чем это позволяет количество разнообразия».

Исходя из идей основоположника кибернетики Н.Винера и результатов, полученных К.Шенноном, Эшби открыл закон, названный законом необходимого разнообразия. Суть этого закона состоит в следующем. Для управления состоянием кибернетической системы нужен регулятор, ограничивающий разнообразие возмущений, которые могут разрушить систему. При этом регулятор допускает такое их разнообразие, которое необходимо и полезно для системы.

При допустимом разнообразии состояний кибернетической системы P_c и разнообразии возмущений P_e количество разнообразия регулятора $P_p = P_e / P_c$. Эта формула является одной из количественных форм выражения закона необходимого разнообразия. В логарифмической форме этот закон имеет вид

$$\log P_p = \log P_e / P_c \text{ или } \log P_p = \log P_e - \log P_c. \quad (31)$$

Обозначив соответствующие логарифмы разнообразия как информационные содержания систем, получим $I_e = I_p + I_c$. Из формулы следует, что сумма информационных содержаний системы и регулятора равна информационному содержанию внешних возмущений.

Закон необходимого разнообразия является одним из основных в кибернетике – науке об управлении.

Принцип Эшби (закон необходимого разнообразия) гласит: если система находится в управляемом состоянии, то необходимо, чтобы на случай любого внешнего воздействия, способного вывести систему из допустимого состояния, существовала такая её реакция, которая бы возвращала систему в одно из допустимых состояний.

Теорема Эшби – логичное развитие теоремы Гёделя.

Суть принципа Эшби состоит в следующем: максимальная эффективность и устойчивость характерна для таких сложноорганизованных систем, в которых максимально внутреннее разнообразие (количество и качество составляющих систему элементов и их внутренняя дифференциация). При создании системы, обеспечивающей решение проблем, необходимо, чтобы эта система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать такое разнообразие. Иначе говоря, система должна обладать возможностью изменять свое состояние в ответ на возможное возмущение; разнообразие возмущений требует соответствующего ему разнообразия возможных состояний. В противном случае такая система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной. Отсутствие или недостаточность разнообразия могут свидетельствовать о нарушении целостности подсистем, составляющих данную систему. Следствие: язык должен иметь избыточные смыслообразовательные средства.

2.4 Информация Колмогорова

Отличный от комбинаторного и вероятностного подходов способ определения количества информации предложил А.Н. Колмогоров в 1965, который он назвал алгоритмическим. Колмогоров писал: *«Не видно, почему теория информации должна столь существенно основываться на теории вероятностей, как это представляется по большинству руководств. Теория информации должна предшествовать теории вероятностей, а не опираться на неё. Основы теории информации имеют по самому существу этой дисциплины финитный комбинаторный характер»*.

В алгоритмическом подходе количество информации определяется как минимальная длина программы, позволяющей преобразовать один объект (множество) в другой (множество). Чем больше различаются два объекта между собой, тем сложнее (длиннее) программа перехода от одного объекта к другому. Так, воспроизвести последовательность букв a, a, \dots, a можно при помощи очень простой программы. Несколько большей окажется длина программы, восстанавливающей последовательность $a, в, с, а, в, с, \dots$. Длина программы при этом измеряется количеством команд (операций), позволяющих воспроизвести последовательность. Этот подход, в отличие от подхода Шеннона, не базирующийся на понятии вероятности, позволяет, например, определить прирост количества информации, содержащейся в результатах расчета, по сравнению с исходными данными. Вероятностная теория информации на этот вопрос не может дать удовлетворительного ответа.

Андрей Николаевич Колмогоров (1903-1987) - математик, доктор физико-математических наук, профессор МГУ, академик, один из основоположников современной теории вероятностей, им получены фундаментальные результаты в топологии, математической логике, теории турбулентности, теории сложности алгоритмов и ряде других областей математики и её приложений.

А. Н. Колмогоровым проведён детальный анализ преимуществ и недостатков трёх основных способов определения количества информации - комбинаторного, вероятностного и алгоритмического, что позволило приступить к логическому анализу самого понятия информации, в частности заключенной в тексте. В результате удалось вычислить энтропию русской речи с целью оценки её «гибкости», т. е. «показателя разветвленности возможностей продолжения речи при заданном словаре и правилах построения фраз».

Согласно алгоритмическому определению информации «количество информации в тексте приблизительно равно логарифму длины самой короткой программы, которая может напечатать этот текст». Иными словами, алгоритм, печатающий число «100000» должен быть проще алгоритма, печатающего число «234769». Этот принцип положен в основу компьютерных программ-архиваторов, сжимающих файлы за счёт сокращения последовательностей одинаковых символов: для такой программы

второе число будет более информативно, чем первое, и, соответственно, архивное представление первого числа будет намного короче второго числа.

Колмогоров пересмотрел частотную концепцию понятия вероятности, выбрав в качестве объекта таблицы случайных чисел. От того, как выбрана длина последовательности случайных чисел или размеры таблицы, зависело качество различных датчиков и криптографических систем. Строгое объяснение подходящего выбора таблицы случайных чисел привело к пониманию алгоритмической сложности и к глубокому толкованию понятия информации и вероятности. Основываясь на том, что «случайность состоит в отсутствии закономерности», А. Н. Колмогорову с помощью понятия сложности конечного объекта удалось строго объяснить выбор случайной последовательности для вычисления вероятности через частоту. Логический анализ основных понятий теории вероятностей и теории информации привел А. Н. Колмогорова к необходимости формального рассмотрения понятия алгоритма и структур множеств в функциональных пространствах. В частности, были введены оказавшиеся очень полезными во многих разделах математики и приложений понятия ε -энтропии и ε -емкости множеств, что позволило исследователям изучать наряду со структурой пространств и динамические системы.

Понятие ε -энтропии (эпсилон-энтропии) можно пояснить таким примером. Представьте себе некоторое множество M точек на плоскости. Это может быть что угодно - геометрическая фигура, прямая, кривая, график функции, просто разбросанные точки. Потом введем такое понятие, как минимальное покрытие кругами. Это значит - минимальное количество кругов, которыми при наложении на плоскость можно полностью закрыть множество M . Пусть у нас все круги были радиуса эпсилон. Подсчитаем количество таких кругов - понятно, что оно зависит от эпсилон. Грубо говоря, чем меньше эпсилон, тем больше таких кругов понадобится для покрытия множества M . Вот это количество Колмогоров назвал эпсилон-энтропией.

ε -энтропия - предел при эпсилон, стремящемся к нулю, такой дроби: логарифм натуральный от эпсилон-энтропии разделить на логарифм натуральный от эпсилон. Она обладает многими ценными свойствами. Во-первых, с её помощью можно оценивать хаусдорфову размерность множеств (речь идёт о фракталах - множествах, у которых, у которых хаусдорфова размерность нецелая). Зависимость этой энтропии от времени применяется в исследовании динамических систем - если в какой-то момент времени энтропия начинает себя плохо вести, то такая динамическая система ни к чему хорошему нас не приведет - она начнет наматываться, как нитка на клубок, на так называемый «странный аттрактор». ε -Энтропия полезна при описании броуновского движения - энтропия его траектории всегда равняется трем вторым. Кроме того эта энтропия применяется в исследовании случайных процессов и хаотических систем.

Замечание. Динамическую энтропию иногда называют K -энтропией в честь А.Н.Колмогорова. Её используют для исследования сложных – хаотических (стохастических) движений динамических систем.

Алгоритмический подход тесно связан с понятием колмогоровской сложности.

Колмогоровская сложность последовательности из нулей и единиц - длина самой короткой программы, которая может породить эту последовательность, т.е. сложность объекта - длина наиболее ёмкого описания, по которому объект можно восстановить. Она определяется для вычислимых функций, натуральных чисел и других объектов, кодируемых бинарными цепочками.

Сложность объекта - минимальное число двоичных знаков, содержащих информацию об объекте, достаточную для его воспроизведения (декодирования). Другими словами, сложность- это выраженная в битах длина самой экономичной программы, порождающей сообщение об объекте. Для того, чтобы установить, что данная последовательность чисел сложна (т.е. случайна), следует доказать, что не существует более короткой программы, порождающей эту последовательность. Согласно теореме Гёделя такое утверждение недоказуемо, доказательство требует системы большей сложности.

На базе теории сложности строится теория хаоса, пионерами которой считаются французский физик и философ Анри Пуанкаре (доказал теорему о возвратах), советские математики А.Н.Колмогоров, В. И. Арнольд и, Мозер, построившие теорию хаоса, называемую КАМ (теория Колмогорова-Арнольда-Мозера). Теория вводит понятие аттракторов (в том числе, странных аттракторов как притягивающих канторовых структур), устойчивых орбит системы (т.н. КАМ-торов).

Теория хаоса - математический аппарат, описывающий поведение некоторых нелинейных динамических систем, подверженных, при определённых условиях, сильной чувствительностью поведения системы к начальным условиям. Результатом такой чувствительности является то, что поведение такой системы кажется случайным, даже если модель, описывающая систему, является детерминированной. Примерами подобных систем являются атмосфера, турбулентные потоки, биологические популяции, общество как система коммуникаций и его подсистемы: экономические, политические и другие социальные системы. Теория хаоса гласит, что сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий и небольшие изменения в окружающей среде ведут к непредсказуемым

последствиям. Математические системы с хаотическим поведением являются детерминированными, то есть подчиняются некоторому строгому закону и, в каком-то смысле, являются упорядоченными.

Сложность по Колмогорову конечной двоичной последовательности - это размер архива, полученный после применения универсального архиватора (то есть, детерминированной кодирующей процедуры), который уменьшит её длину максимальным образом, настолько, насколько это возможно. Эта сложность называется **количеством информации по Колмогорову** конечной двоичной последовательности. С этой точки зрения, случайные последовательности - это несжимаемые последовательности, то есть, те, длину которых нельзя уменьшить фиксированным универсальным архиватором. Результат архивации - это последовательность из нулей и единиц, которая представляет собой наиболее экономную запись процедуры генерации исходной последовательности. Колмогоров распространил это определение и на бесконечные двоичные последовательности. Идея - назвать бесконечную последовательность случайной, если все её начальные конечные отрезки случайны.

Замечание. Колмогоровскую сложность и энтропию Шеннона называют в разных контекстах одинаково - количество информации. Но шенноновская энтропия относится к теории передачи сигналов, которые выбираются из некоторого множества с известными вероятностями каждого сигнала. То есть, количество информации по Шеннону - это характеристика системы передачи информации. Колмогоровская же сложность (или количество информации) есть характеристика конкретного данного объекта (двоичной последовательности) в терминах его наиболее экономного кодирования. Поэтому, это две совершенно различные концепции, которые применяются для разных задач: шенноновская - в условиях стохастической неопределённости, колмогоровская - в условиях детерминированной заданности. Но связь между ними всё же есть. Рассмотрим такую ситуацию. Пусть задано число r и слово x длины $i \cdot r$ состоит из i слов длины r , причём каждое из 2^r возможных слов длины r входит в слово x со своей собственной частотой p_k ($k=1, \dots, 2^r$). Тогда имеет место следующая оценка количества информации по Колмогорову $K(x)$ слова x сверху с помощью энтропии:

$$K(x) \leq H + a(i), \quad (32)$$

где $H = -\sum (p_k \cdot \log_2(p_k))$ - шенноновская энтропия распределения вероятностей $\{p_k\}$, и $a(i)$ стремится к нулю при $i \rightarrow \infty$.

Исходя из того, что по существу наиболее содержательным является представление о количестве информации «в чём-либо» (X) и «о чём-либо» (Y), А.Н. Колмогоров для оценки информации в одном конечном объекте относительно другого конечного объекта предложил использовать теорию алгоритмов. За количество информации при этом, принимается значение некоторой функции от сложности каждого из объектов и длины программы (алгоритма) преобразования одного объекта в другой.

Алгоритмический подход к измерению количества информации, в силу ряда объективных причин, не нашел широкого практического применения. 1) На пути его формализации встала очевидная трудность: то, что просто описывается на одном языке, может не иметь простого описания на другом, и непонятно, какой способ описания выбрать. То есть алгоритмическая оценка информации зависит от выбранного метода программирования, а такой выбор всегда имеет субъективный характер. 2) Практическое использование математического аппарата способа возможно лишь применительно к весьма простым объектам, имеющим математическое описание, в то время как отсутствие последнего является характерной и обязательной чертой сложных объектов. Кроме того, понятие «сложность» само по себе является относительным и зависит от уровня рассмотрения объектов. 3) В соответствии с теоремой Гёделя о неполноте формальных систем, нельзя доказать, что минимальная длина программы $L(P)$ преобразования X в Y , составленная на каком-либо языке программирования, действительно является объективно минимальной.

Таким образом, алгоритмический подход, также как комбинаторный и вероятностный, не позволяет получить расчетную формулу для негэнтропии отражения системных объектов.

Алгоритмическую информацию Колмогорова можно рассматривать как меру алгоритмической хаотичности. Алгоритмическая информация практически совпадает с информацией по Шеннону.

2.5 Негэнтропия Шредингера

Из равновесной термодинамики следует, что качество энергии может быть точно определено через отрицательную энтропию ($-S$). Негэнтропия ($N=-S$) представляет качество энергии, и должна всегда убывать. В этом состоит смысл принципа деградации энергии.

Негэнтропия - термин, образованный добавлением отрицательной приставки нег- (от *negative*) к слову энтропия.

Негэнтропия – отрицательная энтропия (*negentropy*), или синтропия (*syntropy*) живой системы - энтропия, которую живая система экспортирует, чтобы снизить уровень собственной энтропии.

Негэнтропия - способность открытых систем избегать энтропии и достигать новых устойчивых состояний за счет взаимодействия с внешней средой.

Негэнтропия с точки зрения «информационного подхода» - отрицательное определение от понятия энтропии, «генетически» из неё вырастающее. Поэтому негэнтропия может рассматриваться только с опорой на энтропию, т.е. параллельно.

Впервые понятие «отрицательной энтропии» предложил в 1943 австрийский физик Эрвин Шрёдингер в популярной книге «Что такое жизнь?». В ней он пытался продолжить идеи Нильса Бора о глубокой связи физических и философских законов, согласно которым открытый Нильсом Бором принцип «дополнительности» мог объединить общечеловеческие знания до простого понимания единства мира. Уже сам факт наличия у слова *энтропия* отрицательной приставки *нег* свидетельствует о том, что за понятием *негэнтропия* скрывается нечто противоположное энтропии и отрицающее её, так сказать, некая отрицательная энтропия. Шредингер пришёл к выводу, что биологическим системам для своего существования необходимо извлекать из окружающей среды отрицательную энтропию, чтобы компенсировать внутреннее производство энтропии, и тем самым тормозить своё движение в сторону термодинамического равновесия, соответствующего состоянию смерти.

Позже, американский физик Леон Бриллюэн в своей работе «Научная неопределенность и информация» сократил это выражение до слова негэнтропия, и ввёл его в таком виде в теорию информации объясняет этим, как живая система экспортирует энтропию, чтобы поддержать свою собственную энтропию на низком уровне. При помощи термина негэнтропия, он мог выразить это более позитивно: живая система импортирует негэнтропию, чтобы увеличить уровень собственной негэнтропии, т.е. для самосохранения. В простом понимании - энтропия, суть хаос, саморазрушение и саморазложение. Соответственно, негэнтропия - есть движение к упорядочиванию, к организации системы. По отношению к живым системам: для того, чтобы не погибнуть, живая система борется с окружающим хаосом путем организации и упорядочивания последнего, т. е. импортируя негэнтропию. Таким образом объясняется поведение самоорганизующихся систем.

Эрвин ШРЁДИНГЕР (1887 - 1961) - австрийский физик, создатель волновой механики, удостоенный в 1933 Нобелевской премии по физике (совместно с П.Дираком)

Замечание. Шеннон определял энтропию со знаком, обратным обычному термодинамическому определению. Поэтому то, что Шеннон называет энтропией информации, в действительности означает негэнтропию. Чтобы привести это в соответствие с современными определениями, нужно либо изменить знак и читать негэнтропия.

Количество информации математически тождественно энтропии того или иного объекта, взятой с обратным знаком. Энтропия характеризует меру хаотичности, неупорядоченности системы. Следовательно, информация может быть представлена как отрицательная энтропия (или негэнтропия) системы.

Философы обратили внимание на объясняющую силу понятия энтропии, которая выражалась в возможности рассматривать все процессы, происходящие в мире как энтропические в термодинамическом смысле, в том числе процессы, связанные с человеческой деятельностью в организации социальной жизни. При этом живыми называются такие системы, которые способны самостоятельно поддерживать и увеличивать свою очень высокую степень упорядоченности в среде с меньшей степенью упорядоченности. Такие процессы являются процессами с отрицательной энтропией (негэнтропийными процессами).

Изолированная система обладает негэнтропией, если она обнаруживает возможность совершения механической или электрической работы: если система не имеет однородной температуры, а состоит из различных частей с различными температурами, она содержит некоторое количество негэнтропии. Негэнтропия может быть использована для получения некоторой механической работы, совершаемой системой, или она может быть просто рассеяна и потеряна вследствие теплопроводности.

Разность давлений в различных частях системы - пример негэнтропии. Разность электрических потенциалов - другой пример. Сосуд со сжатым воздухом в комнате при атмосферном давлении, откачанный сосуд в такой же комнате, заряженная батарея, любое устройство, которое может производить энергию высокого качества (механическую работу) или деградировать в результате какого-либо необратимого процесса (теплопроводность, электрическое сопротивление, трение, вязкость), - источник негэнтропии. Если живой организм нуждается в пище, то лишь из-за негэнтропии, которую он может получить из пищи и которая необходима для восполнения потерь на совершенную механическую работу или вследствие процессов деградации в живом организме. Энергия, содержащаяся в пище, не имеет существенного значения, так как она сохраняется и никогда не теряется; важную роль играет именно негэнтропия.

Энтропия находится в обратном соответствии качеству энергии. Второе начало устанавливает, что энтропия должна всегда возрастать, тогда как энергия всегда теряет свое качество (деградация энергии Кельвина).

Энтропия связана с вероятностью. Можно создать искусственно замкнутую изолированную систему с очень маловероятной структурой. Если предоставить эту систему самой себе, то она будет эволюционировать в сторону более вероятной структуры. Вероятность имеет естественную тенденцию к возрастанию, как и энтропия. Точное соотношение дается известной формулой Больцмана-Планка:

$$S = k \ln P, \quad (33)$$

где $k=1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/градус - постоянная Больцмана, S - энтропия рассматриваемой системы, P - статистический вес (число элементарных микросостояний).

Рассмотрим теперь негэнтропийный принцип информации.

Пусть имеется P_0 различных возможных случаев или событий с одинаковыми априорными вероятностями. Для уменьшения числа возможных случаев до P_1 требуется информация I_1 и логарифм отношения P_0/P_1 есть мера I_1 :

Начальное положение $I_0 = 0$ P_0 возможностей

Конечное положение $I_1 > 0$ P_1 возможностей

Информация:

$$I_1 = K \ln \frac{P_0}{P_1}. \quad (34)$$

В термодинамических единицах $K=k$ - постоянная Больцмана.

Возможны два вида информации:

1. Свободная информация I_f , возникающая, когда возможные случаи рассматриваются как абстрактные и не имеющие определенного физического значения.
2. Связанная информация I_b , возникающая, когда возможные случаи могут быть представлены как микросостояния физической системы - специальный случай свободной.

Только связанная информация связана с энтропией. Для установления соотношения между связанной информацией и энтропией рассматривают равновероятные случаи как микросостояния. Тогда имеем следующую картину:

Связанная информация	Статистический вес	Энтропия
Начальное положение $I_{b0} = 0$	P_0	$S_0 = k \ln P_0$
Конечное положение $I_{b1} \neq 0$	$P_1 < P_0$	$S_1 = k \ln P_1$

Очевидно, что в этой схеме система не изолирована: энтропия убывает с получением информации, уменьшающей число микросостояний, и эта информация должна доставляться внешним агентом, энтропия которого будет возрастать. Связь между уменьшением энтропии системы и требуемой информацией имеет вид

$$I_{b1} = k(\ln P_0 - \ln P_1) = S_0 - S_1, \quad (35)$$

или $S_1 = S_0 - I_{b1}$.

Связанная информация появляется в качестве отрицательного слагаемого полной энтропии физической системы, поэтому связанная информация = убыванию энтропии S = увеличению негэнтропии N , где негэнтропия определена как отрицательная энтропия ($N = -S$). Это положение составляет негэнтропийный принцип информации. Важно, что информация может быть превращена в негэнтропию, и обратно.

В случае свободной информации предпочтительно не говорить о связи между информацией и энтропией, так как соотношение между энтропией и числом случаев определено только, если рассматриваемые случаи являются микросостояниями физической системы. В ситуации, описанной (2) энтропия системы уменьшалась при посредстве некоторого внешнего агента. В изолированной системе (согласно принципу Карно) при любой естественной дальнейшей эволюции системы $\Delta S_1 \geq 0$, или $\Delta(S_0 - I_{b1}) \geq 0$.

Возрастание энтропии может произойти за счёт либо слагаемого S_0 , или $-I_{b1}$, или того и другого. Когда система изолирована и предоставлена самой себе, то она, естественно, стремится к наиболее вероятной средней структуре, соответствующей физическим условиям, определяемым фиксированными значениями некоторых макроскопических параметров (объём, энергия, химическое строение и т. д.).

Взаимосвязь между термодинамикой и теорией информации устанавливается следующим образом: негэнтропия N соответствует информации I , температура T означает тепловой шум, нарушающий передачу информации, энергия сохраняет своё обычное значение $\Delta Q = T \Delta S$ - тепло, участвующее в некотором процессе, $\Delta W = T \Delta N = T \Delta I$ соответствует механической работе, которая может быть произведена. При высокой температуре T шум сильнее и работа, необходимая для передачи определенной информации, больше, так как необходимо перекрыть помехи.

Получение информации о физической системе соответствует понижению энтропии этой системы. Низкая энтропия означает неустойчивое состояние, которое рано или поздно путем естественной эволюции перейдет в устойчивое состояние с высокой энтропией. Второе начало ничего не говорит нам о требуемом для этого времени, и поэтому мы не знаем, как долго система будет помнить информацию. Но если классическая термодинамика не даёт ответ на этот вопрос, то мы можем получить ответ из рассмотрения молекулярной или атомной модели с помощью кинетической теории: скорость затухания всякого рода волн, скорость диффузии, скорость протекания химических реакций и т. д. могут быть вычислены для

подходящих моделей, и время установления может меняться от малых долей секунды до годов или столетий. Такого рода задержки используются на практике: не так много времени требуется, чтобы серия импульсов (представляющих, например, точки и тире), передаваемая по электрическому кабелю, затухла и была забыта; однако этот короткий промежуток времени достаточно велик для передачи даже на большие расстояния, что и делает возможной дальнюю связь.

Система, способная удерживать информацию на некоторое время, может быть использована в качестве запоминающего устройства вычислительной машины.

Энтропия - мера беспорядочности в физической системе, точнее энтропия - мера недостатка информации о действительной структуре системы. Этот недостаток информации приводит к тому, что возможно большое разнообразие различных микроструктур, которые мы практически не в состоянии отличить друг от друга. Так как каждая из этих различных микроструктур действительно может быть реализована в некоторый данный момент, недостаток информации соответствует действительному беспорядку в скрытых степенях свободы.

2.6 Негэнтропия Бриллюэна

Бриллюэн Леон (889 - 1969), французский физик. Учился в Мюнхенском и Парижском университетах. В 1928-32 профессор Парижского университета, в 1932-39 профессор Коллеж де Франс. В 1941 переехал в США, где преподавал в различных университетах. Профессор Колумбийского университета. Круг научных интересов Бриллюэна весьма широк: классическая электродинамика, квантовая механика, физика твёрдого тела, радиофизика, статистическая физика, теория информации.

Как уже неоднократно упоминалось, одно из важнейших свойств энтропии заключается в том, что энтропия системы в необратимом процессе может только возрасть (вследствие потерь тепла, трения и т.п.). При этом возрастание энтропии характеризует увеличение хаотичности в системе (благодаря чему термин «энтропия» часто воспринимается как меры хаотичности вообще). В статистической интерпретации под энтропией подразумевается «мера вероятности пребывания системы в данном состоянии»: чем больше энтропия, тем больше вероятность найти систему находящейся в наиболее вероятном, типичном состоянии. В 1956 Л.Бриллюэн принял за универсальную меру количества информации величину

$$I = k \ln P, \quad (36a)$$

где P - вероятность осуществления некоторого события или «сложность устройства» какого-либо объекта, k - постоянная, величина которой зависит от выбора системы единиц измерения, а \ln - натуральный логарифм. Далее Л. Бриллюэн обратил особое внимание на сходство указанной формулы с формулой Больцмана-Планка для исчисления количества энтропии

$$S = k \ln W, \quad (36б)$$

где W - число микросостояний некоторой системы, соответствующей её макросостоянию, а k - постоянная Больцмана, равная $1,4 \cdot 10^{-16}$ эрг-град⁻¹ или $3,3 \cdot 10^{-24}$ энтропийных единиц (1 э.е. = 1 кал-град⁻¹). Отсюда Л. Бриллюэн сделал вывод, что, приняв $k = 3,3 \cdot 10^{-24}$ э.е., мы получим возможность выражать количество информации в энтропийных единицах (1 бит = $2,3 \cdot 10^{-24}$ э.е.), а величину энтропии, напротив, в единицах информационных (1 э.е. = $4,3 \cdot 10^{23}$ бит).

Затем он сделал последний шаг в построении «негэнтропийного принципа»: сформулировал утверждение, согласно которому **информация – энтропия, взятая с обратным знаком, или негэнтропия**. При этом он ориентировался на тот факт что формулы Шеннона и Больцмана отличаются лишь знаком. Так как энтропия является мерой неупорядоченности, то информация может быть определена как *мера упорядоченности материальных систем*. В замкнутой системе деградация качества энергии - следствие возрастания в ней энтропии: «эта негэнтропия представляет собой, в конечном счёте, качество энергии». Кроме того, непосредственно сравнивая информацию и энтропию, Л.Бриллюэн сформулировал и ввёл в теорию информации *негэнтропийный принцип информации*: «информация представляет собой отрицательный вклад в энтропию».

Пусть физическая система имеет W возможных состояний. Увеличение информации о ней, что было бы эквивалентно фиксации в определенном состоянии, приведет к уменьшению энтропии системы. Другими словами,

$$I + S = const. \quad (37)$$

Чем больше известно о системе, тем меньше её энтропия. Важно ещё одно обстоятельство. Утрачивая информацию, мы увеличиваем энтропию системы. Увеличивать информацию о системе мы можем, лишь увеличивая количество энтропии вне этой системы, во внешней среде.

Таким образом, благодаря отождествлению информации с негэнтропией, т. е. с определенным количеством энтропии, взятым с отрицательным знаком, Л. Бриллюэну удалось привязать теорию

информации К. Шеннона к физическим проблемам. Исходя из такого понимания информации, удобно определить её количество I , содержащееся в том или ином ансамбле, формулой

$$I = S_{\max} - S, \quad (38)$$

где S - энтропия ансамбля, а S_{\max} - максимально возможное в данной системе количество энтропии - её информационная ёмкость. Таким образом, если система находится в состоянии максимального хаоса (подобно изолированной термодинамической системе в равновесном состоянии), то содержащееся в ней количество информации равно нулю, и наоборот, если система находится в одном из своих базисных состояний, т. е. в состоянии максимального упорядочения, количество содержащейся в ней информации максимально и равно S_{\max} .

Формула Шеннона для определения количества информации и формула Больцмана $S = \ln W$ для случая, когда вероятности отдельных состояний системы различаются, формально совпадают, но имеют разный смысл: информация Шеннона соответствует одному единственному состоянию системы из всех возможных W , мера этой информации $I = \ln W$. Энтропия Больцмана соответствует возможности нахождения системы с некоторой вероятностью $1/W$ в каждом из доступных состояний. Информация и энтропия оказались равны между собой, потому, что I соответствует максимальной информации одного единственного состояния, а S определена по множеству всех состояний.

В замкнутой системе (возьмем, например, текст) увеличение энтропии приводит к «забыванию» информации, и мы приходим к соотношению $I + S = \text{const}$. В соответствии со вторым законом термодинамики энтропия замкнутой системы не может убывать со временем. Поэтому в замкнутых системах соотношение (9) может сдвигаться только к забыванию информации. Это означает, что рождение новой информации требует выхода за пределы изолированной системы.

Если энтропия символизирует «закон обесценивания, правило снижения уровня», то негэнтропия связывается с *ценностью* и *редкостью*, эквивалентными с точки зрения физики. Эволюция системы с растущей энтропией приводит к тому, что система теряет свою неповторимую организацию, становясь более похожей на некий среднестатистический стандарт. Связь термодинамики с теорией информации состоит в том, что чем больше мы знаем о состоянии системы, тем меньше у нас неопределённости относительно структуры системы, что уменьшает число элементарных состояний, вероятность и энтропию.

«Любая добавленная информация увеличивает негэнтропию системы. Это приводит к важному соображению: мы можем установить количественную меру информации через соответствующий прирост негэнтропии». Бриллюэн прибегает к следующей аналогии между термодинамикой и теорией передачи связи: «передача информации требует быстроты, информация, извлечённая из непосредственного эксперимента, быстро стареет».

Энтропия разъедает информацию...

Бриллюэн вслед за Шенноном определил информацию как приращение энтропий:

$$I = k \ln (P_0/P_1) = k \ln P_0 - k \ln P_1. \quad (39)$$

Далее он перешёл непосредственно к информационному аспекту научного познания, что выражается в поиске ответов на следующие вопросы: какова информация, извлечённая из эксперимента или из теоретического закона и её количественное выражение.

Он рассмотрел ситуацию эксперимента с полем наблюдения P_0 и разрешающей способностью P_1 . Экспериментатор не может регистрировать величины больше P_0 и меньше P_1 , таким образом, информация, которую можно извлечь из эксперимента равняется $I = k \ln P_0 - k \ln P_1$. Он ввёл и меру информации $I_{\text{общ}}$ для эмпирического закона, опирающегося на данные экспериментов α , β и γ : $I_{\text{общ}} = I_\alpha + I_\beta + I_\gamma$. Теоретическому закону отвечает такая ситуация, когда информация I_α уже несёт в себе определённую информацию о ходе следующих экспериментов, в результате чего информация о β и γ оказывается меньше соответственных величин I_β и I_γ :

$$I_{\text{общ}} = I_\alpha + I'_\beta + I'_\gamma + R, \quad (40)$$

где R обозначает *избыточность*, являющуюся мерой *корреляции*.

Идеальной теории отвечает ситуация, когда эксперимент α позволяет точно предсказать результаты опытов β и γ : $I'_\beta = 0$, $I'_\gamma = 0$. В этом случае показатель корреляции и является мерой информации идеальной теории:

$$R = I_{\text{общ}} - I_\alpha = I_{\text{теор.}} \quad (41)$$

Итак, эксперимент, состоящий в измерении какой-либо эмпирической величины, понижает негэнтропию, которая преобразуется в информацию (показываемую индикаторами наших приборов), но при этом **эксперимент приводит к повышению энтропии исследуемого объекта**. Таким образом, прибор оказывается втянутым в сеть взаимодействий, в которых участвует наблюдаемый объект, что необходимо учитывать при интерпретации данных эксперимента.

Эксперимент - вещь непостоянная, и результаты различных экспериментов могут отличаться друг от друга, пускай и на ничтожно малую величину. Вслед за М. Борном Бриллюэн утверждает, что экспериментальные ошибки следует учитывать на теоретическом уровне (а не только в экспериментальной науке). К тому же бесконечная точность в физике невозможна, в результате чего понятие иррационального числа к физическим величинам неприменимо. Тогда: раз уж точность невозможна не только в эксперименте, но и в теории, подвергается сомнению основа естественнонаучной парадигмы, а именно - детерминизм. Детерминизм следует заменить *причинностью*, где:

Детерминизм предполагает «долженствование»: причина должна сама порождать такое-то и такое-то следствие. Причинность принимает утверждение, содержащее «может»: определённая причина может вызвать такие-то и такие-то следствия с некоторыми вероятностями и некоторыми запаздываниями.

В рамках негэнтропийного принципа задаётся физическая система, состоящая из многих элементов. Наблюдения описывают её **макросостояние** - например, определены с известной точностью её объём, давление, температура, химический состав как некоторого объекта, например, объёма газа, жидкости и т.п.

Количество элементов, образующих систему, считается известным. Элементы системы можно назвать её микросоставляющими. Наиболее полной и общей характеристикой микроэлементов реальной системы являются их координаты и импульсы. Конкретные значения координат и импульсов всех элементов системы называют микросостоянием системы. Существует строгое понятие обобщённых координат и импульсов. Его применяют в случаях, которые принято считать немеханическими, например, для электромагнитных процессов. Поэтому понятие микросостояния, первично возникшее для газа идеальных частиц (материальных точек механики), имеет универсальный характер. Каждому одному **макросостоянию** системы соответствует огромное число W микросостояний, определение которых означает, что в любой данный момент времени и в конкретных условиях известны координаты и импульсы всех микроэлементов, входящих в систему.

Бриллюэн использует следующие постулаты:

- Все W микросостояний, соответствующие одному **макросостоянию**, имеют одинаковую априорную вероятность.
- Знать хотя бы одно микросостояние системы - это значит знать о системе всё.
- Рассматриваются только микросостояния реальных физических систем, т.е. есть термин энтропия имеет обычный физический смысл.
- Принимается по аналогии с теорией информации, что в природе существует цель передачи информации. В конечном счёте это эквивалентно утверждению о цели для всей природы.

Бриллюэн использует для физических задач определение информации Хартли, основанное на равновероятности событий. Имеется W_0 различных возможных исходов для событий с одинаковыми априорными вероятностями p_0 . Для уменьшения числа возможных случаев до W_1 (увеличения вероятностей до p_1) требуется информация I_1 . В полном соответствии с классической теорией информации Бриллюэн получает, например, для газа, определение количества информации в виде:

$$I_1 = k \ln \frac{W_0}{W_1} = -k \ln \frac{p_1}{p_0}, \quad (42)$$

где в отличие от теории информации введен размерный множитель k в виде постоянной Больцмана. Этим множителем единственно информация по Хартли для физических задач отличается у него от технической информации. Следствие: если все микросостояния равновероятны, то при $W_1 = W_0$ количество информации в физической системе равно нулю.

Система у Бриллюэна открытая. Логарифмическую меру уменьшения за счёт взаимодействия с окружением числа микросостояний $W_1 < W_0$ Бриллюэн называет информацией, полученной системой извне. Количественно полученная физической системой информация I выражается им в виде:

$$I = k(\ln W_0 - \ln W_1) = S_0 - S_1, \quad (43)$$

то есть информация в физической системе равна изменению её энтропии и соответственно $S_1 = S_0 - I$.

Информация = убыванию энтропии S = увеличению негэнтропии $N = -S$. Это положение составляет негэнтропийный принцип информации. **Энтропия убывает с получением информации, уменьшающей число микросостояний и эта информация должна доставляться внешним агентом, энтропия которого будет возрастать.**

Таким образом, Л.Бриллюэн установил взаимосвязь информации и физической энтропии. Эта взаимосвязь была первоначально заложена в самый фундамент теории информации, поскольку для исчисления количества информации Шеннон предложил использовать заимствованную из статистической термодинамики вероятную функцию энтропии. Многие учёные (начиная с самого К.Шеннона) склонны

были рассматривать такое заимствование как чисто формальный прием. Л.Бриллюэн показал, что между вычисленным согласно Шеннону количеством информации и физической энтропии существует не формальная, а содержательная связь.

Если энтропия символизирует «закон обесценивания, правило снижения уровня», то негэнтропия связывается с *ценностью* и *редкостью*, эквивалентными с точки зрения физики. Эволюция системы с растущей энтропией приводит к тому, что система теряет свою неповторимую организацию, становясь более похожей на некий среднестатистический стандарт. Связь термодинамики с теорией информации видится Бриллюэну следующим образом: чем больше мы знаем о состоянии системы, тем меньше у нас неопределённости относительно структуры системы, что уменьшает число элементарных состояний, вероятность и энтропию: *Любая добавленная информация* увеличивает негэнтропию системы. Это приводит к важному соображению: мы можем установить количественную меру информации через соответствующий прирост негэнтропии.

Л. Бриллюэн рассматривал энтропию как меру недостатка информации, а информацию как отрицательное слагаемое энтропии, её негатив, определяя информацию как негэнтропию. Но так ли это важно, как назвать информацию - собственно информацией или негэнтропией? Оказывается, важно. Негэнтропийный принцип информации объединяет энтропию и информацию, говорит, что нельзя их трактовать порознь, они всегда должны исследоваться вместе. И это положение верно для различных областей применения - от теоретической физики до примеров из повседневной жизни.

Негэнтропия противоположна энтропии и имеет отношение к живым системам - к тому, что более упорядочено и более определённее в сравнении с системами косной материи. Жизнь является *негэнтропичной*, потому что потребляет то, что имеет меньшую упорядоченность (мёртвая пища) и превращает это в то, что имеет большую упорядоченность (клетки в теле, тканях и органах). При этом возрастает температура. Внешняя сторона живой системы, или кожа организма, всегда имеет максимальную энтропию в теле, потому что она удаляет тепло.

Вы можете взглянуть на клетку и наглядно понять, что жизнь является *негэнтропийной* формой. Клетка стремится сохранить свою *негэнтропию* (*организацию, структуру, форму, функции*), и всё это благодаря потреблению энергии извне. Мёртвой клетку делает отсутствие *негэнтропии*, когда клетка распадается, прекращая своё существование. Вопреки наглядности, это не противоречит второму началу термодинамики, которое разрешает переход к большему порядку при условии импорта энергии извне клетки - открытой системы, включённой в более крупные системы.

После работ Л.Бриллюэна негэнтропия стала употребляться в двух значениях: как количество информации, равное разности между начальной (до получения сообщения) и конечной (после получения сообщения) энтропий, и как величина, обратная энтропии, выражающая упорядоченность материальных объектов.

Замечание. Многие думают, что негэнтропия – синоним информации. Это не так. Уже сам Бриллюэн различал свободную информацию (не давая ей, к сожалению, чёткого определения) и связанную информацию, возникающую, когда возможные случаи «могут быть представлены как микросостояния физической системы». И далее: «Только связанная информация (в отечественной литературе она называется микроинформацией) будет представляться связанной с энтропией». Таким образом, он не приписывал любой информации свойства негэнтропии, причём ограничивал свое рассмотрение только той частью информации, которая связана с микросостояниями. Последователи Бриллюэна часто не учитывали, что негэнтропия равна микроинформации (макроинформация вообще никак не связана с энтропией), в результате чего возникли многочисленные недоразумения.

Следует всё же отметить, что рассуждения Бриллюэна не всегда убедительны и в литературе существует обширная критика его подходов, причём многие учёные продолжают настаивать, что физическая и техническая энтропии (и связанные с ними информации) – сущности ничего общего друг с другом не имеющие.

Мы на этой полемике останавливаться не будем.

1. ЕДИНИЦЫ ИНФОРМАЦИИ

Информация и техническая энтропия безразмерны, тем не менее, для их количественного описания существуют специальные единицы, одинаковые для информации и энтропии.

Единицы измерения информации служат для измерения объёма информации - величины, исчисляемой линейно или логарифмически. Это означает, что когда несколько объектов рассматриваются как один, количество возможных состояний перемножаются, а количество информации - складывается. Не важно, идёт речь о случайных величинах в математике, регистрах цифровой памяти в технике или в квантовых системах в физике. Чаще всего измерение информации касается объёма компьютерной памяти и объёма данных, передаваемых по цифровым каналам связи.

Разнообразие необходимо при передаче информации. Нельзя нарисовать белым по белому, одного состояния недостаточно. Если ячейка памяти способна находиться только в одном (исходном) состоянии и не способна изменять свое состояние под внешним воздействием, это значит, что она не способна воспринимать и запоминать информацию. Информационная ёмкость такой ячейки равна 0. Минимальное разнообразие обеспечивается наличием двух состояний. Если ячейка памяти способна, в зависимости от внешнего воздействия, принимать одно из двух состояний, которые условно обозначаются обычно как «0» и «1», она обладает минимальной информационной ёмкостью.

Понятно, что для измерения количества информации (без учёта её содержания) необходима единица информации. За единицу количества информации приняли такое количество информации, при котором неопределённость уменьшается в два раза. Такая единица названа **бит**.

Информационный объем сообщения - количество двоичных символов, используемое для кодирования этого сообщения.

Информационная ёмкость одной ячейки памяти компьютера, способной находиться в двух различных состояниях, принята за единицу измерения количества информации - **1 бит**.

В технике (теория кодирования и передачи сообщений) под количеством информации понимают количество кодируемых, передаваемых или хранимых символов.

Бит (англ. *binary digit* – двоичная цифра, двоичное число; также игра слов: англ. *bit* - немного) (один двоичный разряд в двоичной системе счисления) - одна из самых известных единиц измерения информации.

Бит (bit) - двоичный знак двоичного алфавита {0, 1}.

Бит – термин, обозначающий наименьшую единицу информации, с которой может оперировать вычислительная машина

Бит - минимальная единица измерения информации, минимальная передаваемая единица информации. Сочетания битов могут указывать букву, число, передавать сигнал, выполнять переключение или другие функции.

Бит - единица измерения информационной ёмкости и количества информации, а также информационной энтропии.

Бит - минимальная единица измерения количества передаваемой или хранимой информации, соответствующая одному двоичному разряду, способному принимать значений 0 или 1.

1 бит информации - количество информации, посредством которого выделяется одно из двух равновероятных состояний объекта.

Бит – двоичный логарифм вероятности равновероятных событий или сумма произведений вероятности на двоичный логарифм вероятности при равновероятных событиях.

Бит – единица информации, представляющая собой такое количество, которое необходимо, чтобы сократить количество альтернатив в ситуации выбора на половину. Следовательно, если вы имеете четыре альтернативы и получаете информацию, устраняющую две из них, вы получили один бит информации.

Бит – простое двоичное число (цифра или символ), принимающее значения 1 или 0 и служащее для записи и хранения данных в ЭВМ. Бит является минимальной двоичной единицей измерения энтропии и количества информации в ЭВМ, соответствующей одному двоичному разряду. Энтропия сообщения, выраженная в битах, определяется средним числом символов, необходимых для записи этого сообщения.

Бит – базовая единица измерения количества информации, равная количеству информации, содержащемуся в опыте, имеющем два равновероятных исхода. Это тождественно количеству информации в ответе на вопрос, допускающий ответы «да» либо «нет» и никакого другого (то есть такое количество информации, которое позволяет однозначно ответить на поставленный вопрос).

Замечание. В литературе часто встречается утверждение, что единицу «бит» предложил К.Шеннон. Это, естественно, не верно. Этот термин предложен знаменитым американским статистиком, профессором Джоном Туки в 1946. (Туки - пионер современного эмпирического спектрального анализа. В 1949 году он открыл основания для спектрального анализа, используя анализ корреляций, ограниченных временных последовательностей. В 1965 году он в соавторстве с Джимом Кули описал алгоритм для вычисления в цифровой форме преобразования Фурье. Туки – член американской делегации по переговорам с СССР о запрещении подземных испытаний ядерного оружия: предложил методику выявления ядерных взрывов на фоне природных сейсмических явлений, например, землетрясений).

К.Шеннон воспользовался предложением Д.Туки и в 1948 публикацией в "Bell Systems Technical Journal" своей статьи ввёл термин «бит» в практическую информатику.

Если подбросить монету и проследить, какой стороной она упадет, то мы получим определенную информацию. Обе стороны монеты "равноправны", поэтому одинаково вероятно, что выпадет как одна, так и другая сторона. В таких случаях говорят, что событие несет информацию в 1 бит. Если положить в мешок два шарика разного цвета, то, вытащив вслепую один шар, мы также получим информацию о цвете шара в 1 бит.

Бит одна из самых безусловных единиц измерения. Если единицу измерения длины можно было положить произвольной: локоть, фут, метр, то единица измерения информации не могла быть по сути никакой другой. На физическом уровне бит является ячейкой памяти, которая в каждый момент времени находится в одном из двух состояний: «0» или «1».

Если каждая точка некоторого изображения может быть только либо чёрной, либо белой, такое изображение называют битовым, потому что каждая точка представляет собой ячейку памяти емкостью 1 бит. Классический пример, иллюстрирующий 1 бит информации – количество информации, получаемое в результате подбрасывания монеты – «орел» или «решка». Количество информации равно 1 биту можно получить в ответе на вопрос типа «да»/ «нет». Если изначально вариантов ответов было больше двух, количество получаемой в конкретном ответе информации будет больше, чем 1 бит, если вариантов ответов меньше двух, т.е. один, то это не вопрос, а утверждение, следовательно, получения информации не требуется, раз неопределенности нет. Информационная ёмкость ячейки памяти, способной воспринимать информацию, не может быть меньше 1 бита, но количество получаемой информации может быть и меньше, чем 1 бит. Это происходит тогда, когда варианты ответов «да» и «нет» не равновероятны. Неравновероятность в свою очередь является следствием того, что некоторая предварительная (априорная) информация по этому вопросу уже имеется, полученная, допустим, на основании предыдущего жизненного опыта.

Бит - единица информации

Система с единственным состоянием всегда полностью определена.

За единицу неопределенности разумно принять неопределенность простейшей системы, в которой есть неопределенность: системы с двумя равновероятными состояниями (x_1, x_2) с вероятностями соответственно $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$

Это полностью соответствует тому факту, что

$$H = -\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} = \log_2 2 = 1. \quad \text{Единица информации}$$

(называется **бит** (сокращение от binary digit)).

1 бит информации хранит в себе двоичная ячейка компьютерной памяти, содержащая с равной вероятностью 0 или 1.

Примером системы с неопределенностью 1 бит является обычная монета. Пытаясь угадать, что выпадет: орел или решка, мы ощущаем неопределенность, равную единице.

7

Замечание. Сказанное справедливо только для равновероятного случая.

В зависимости от точек зрения, бит может определяться следующими способами:

1. Один разряд двоичного кода (двоичная цифра). Может принимать только два взаимоисключающих значения: да/нет, 1/0, включено/выключено, и т.п. В электронике 1 биту соответствует 1 двоичный триггер.
2. По Шеннону бит - это двоичный логарифм вероятности равновероятных событий или сумма произведений вероятности на двоичный логарифм вероятности при равновероятных событиях.
3. По Шеннону, базовая единица измерения количества информации, равная количеству информации, содержащемуся в опыте, имеющем два равновероятных исхода. Это тождественно количеству информации в ответе на вопрос, допускающий ответы «да» либо «нет» и никакого другого (то есть такое количество информации, которое позволяет однозначно ответить на поставленный вопрос).

В вычислительной технике и сетях передачи данных обычно значения 0 и 1 передаются различными уровнями напряжения либо тока. В вычислительной технике, особенно в документации и стандартах, слово «бит» часто применяется в значении «двоичный разряд». Аналогом бита в квантовых компьютерах является q-бит.

В компьютерной технике бит соответствует физическому состоянию носителя информации: намагничено - не намагничено, есть отверстие - нет отверстия. При этом одно состояние принято обозначать цифрой 0, а другое - цифрой 1. Выбор одного из двух возможных вариантов позволяет также

различать логические истину и ложь. Последовательностью битов можно закодировать текст, изображение, звук или какую-либо другую информацию. Такой метод представления информации называется **двоичным кодированием** (*binary encoding*).

Бит - слишком мелкая единица измерения. На практике чаще применяется более крупная единица – **байт** (*byte*), вообще говоря равная произвольному числу битов, но в компьютерной практике обычно равная восьми битам, т.к. именно восемь битов требуется для того, чтобы закодировать любой из 256 символов алфавита клавиатуры компьютера ($256=2^8$). В большинстве современных ЭВМ при кодировании каждому символу соответствует своя последовательность из восьми нулей и единиц, т. е. **байт**. Соответствие байтов и символов задается с помощью таблицы, в которой для каждого кода указывается свой символ. Если бит позволяет выбрать один вариант из двух возможных, то байт, соответственно, 1 из 256 (2^8).

Определенное количество бит составляет размер других единиц – двоичных слов, в том числе, байта, килобайта, мегабайта и т.д.

Байт (*byte*) – это двоичное слово, способное записывать и хранить в памяти ЭВМ один буквенно-цифровой или другой символ данных. Каждый символ записывается в виде набора двоичных цифр (битов) при помощи определенного кода, например ASCII.

Байт – единица количества информации, обычно состоящая из 8 бит и используемая как одно целое при передаче, хранении и переработки информации компьютером. Байт служит для представления букв или специальных символов (занимающих обычно весь байт). Информация в компьютере обрабатывается отдельными байтами, либо группами байтов (полями, словами).

Байт - в запоминающих устройствах - наименьшая адресуемая единица данных в памяти компьютера, обрабатываемая как единое целое. По умолчанию байт считается равным 8 битам. Обычно в системах кодирования данных байт представляет собой код одного печатного или управляющего символа.

Байт - в измерении информации - единица измерения количества информации, объема памяти и ёмкости запоминающего устройства.

Байт - единица количества информации. Для конкретного компьютера байт - минимальный шаг адресации памяти. В стандартном виде байт равен восьми битам (может принимать 256 (2^8) различных значений). Байт в современных компьютерах - минимально адресуемая последовательность фиксированного числа битов. При хранении данных в памяти существует также бит чтения-записи, а для цифровых микросхем - бит синхронизации. Иногда байтом называют последовательность битов, которые составляют подполе машинного слова, используемое для кодирования одного текстового символа (хотя правильней это называть символом, а не байтом).

Замечание. Термин байт (*byte*), обозначающий последовательность битов, необходимых для компьютерного представления одного символа (как правило, 8 бит), гораздо моложе термина бит. Его предложил в 1964 доктор Вернер Бухгольц из IBM. (Первое упоминание байта встречается в одной из статей в "IBM Systems Journal" за 1964). Что же касается происхождения самого термина, то тут существует несколько гипотез. По одной из них, термин байт (*byte*) произошел от слов Binary digiT Eight (двоичное число восемь) путем замены в образовавшемся слове BITE буквы I на Y. Последнее было сделано для того, чтобы не путать в произношении и написании новый термин с уже существовавшим «битом». Сторонники другой гипотезы утверждают, что «байт» произошел от сокращения слов BinarY TErm (двоичный термин) без всякой возни с заменой одной буквы на другую. Наконец, есть и третьи, утверждающие, что «байт» просто был переделан из «бита» для того, чтобы термины для обозначения однородных величин и в звучании были похожи друг на друга.

В принципе, байт определяется для конкретного компьютера как минимальный шаг адресации памяти, который на старых машинах не обязательно был равен 8 битам (не у всех компьютеров память состоит из битов, пример: троичный компьютер). В современной традиции, байт часто считают равным восьми битам. В таких обозначениях как Кбайт (русское) или KB (английское) под байт (B) подразумевается именно 8 бит, хотя сам термин «байт» не вполне корректен с точки зрения теории. Во французском языке используются обозначения o, Ko, Mo и т. д. (от слова *octet*) дабы подчеркнуть, что речь идёт именно о 8 битах.

Далее в лекциях:

$$1 \text{ байт} = 8 \text{ битам}$$

В компьютере информация представляется в виде последовательности из нулей и единиц (двоичное кодирование). Цифры 0 и 1 можно рассматривать как два равновероятных события, а один двоичный разряд содержит количество информации, равное 1 биту. Два двоичных разряда несут соответственно 2 бита информации. Информационный объём сообщения - количество двоичных символов, используемое для кодирования этого сообщения. Каждому символу в компьютере соответствует последовательность из 8 нулей и единиц, называемая байтом: 1 байт = 8 битам. Например, слово МИР в компьютере выглядит следующим образом: {M}11101101 {I}11101001 {P}11110010. Последовательностью нулей и единиц можно закодировать и графическую информацию, разбив изображение на точки. Если только чёрные и белые точки, то каждую можно закодировать 1 битом.

Количество бит в байте определяет его разрядность, которая может составлять 8, 16, 32 и т.д. Соответственно байт называют 8-разрядным, 16-разрядным и т.д. Один 8-разрядный байт может определять 256 разных значений, например десятичных чисел от 0 до 256. Увеличение разрядности ведет к соответствующему увеличению числа возможных вариантов комбинаций, кодируемых одним байтом. Например, 16-разрядным - до 65536 или 216, 32-разрядным - до 232 и т.д.

Широко используются также ещё более крупные производные единицы информации:

- 1 Килобайт (Кбайт) = 1024 байт = 2^{10} байт,
- 1 Мегабайт (Мбайт) = 1024 Кбайт = 2^{20} байт,
- 1 Гигабайт (Гбайт) = 1024 Мбайт = 2^{30} байт.
- 1 Терабайт (Тбайт) = 1024 Гбайт = 2^{40} байт,
- 1 Петабайт (Пбайт) = 1024 Тбайт = 2^{50} байт.

Измерения в байтах						
Десятичная приставка			Двоичная приставка			
Название	Символ	Степень	Название	Символ	Степень	
				МЭК	ГОСТ	
байт	B	10^0	байт	B	байт	2^0
килобайт	kB	10^3	кибибайт	KiB	Кбайт	2^{10}
мегабайт	MB	10^6	мебибайт	MiB	Мбайт	2^{20}
гигабайт	GB	10^9	гибибайт	GiB	Гбайт	2^{30}
терабайт	TB	10^{12}	тебибайт	TiB	Тбайт	2^{40}
петабайт	PB	10^{15}	пебибайт	PiB	Пбайт	2^{50}
эксабайт	EB	10^{18}	эксбибайт	EiB	Эбайт	2^{60}
зеттабайт	ZB	10^{21}	зебибайт	ZiB	Збайт	2^{70}
йоттабайт	YB	10^{24}	йобибайт	YiB	Йбайт	2^{80}

Килобайт, Кбайт (kilobyte) – это единица измерения емкости памяти или длины записи, равная 1024 байтам. Часто под килобайтом понимается также величина, равная 103 байт.

Мегабайт, Мбайт (megabyte) – это единица измерения емкости памяти или длины записи, равная 1024 Кбайт. Часто под мегабайтом понимается также величина, равная 103 килобайт или 106 байт.

Гигабайт, Гбайт (gigabyte) – единица измерения емкости памяти или длины записи, равная 1024 Мбайт. Часто под гигабайтом понимается также величина, равная 103 мегабайт, 106 килобайт или 109 байт.

Терабайт, Тбайт (terabyte) - это единица измерения емкости памяти или длины записи, равная 1024 Гбайт. Часто под терабайтом понимается также величина, равная 103 гигабайт, 106 мегабайт, 109 килобайт или 1012 байт.

Кубит (quantum bit, qubit) – это «Квантовый бит» – мера и измерения объема памяти в теоретически возможном виде компьютера, использующем квантовые носители, например - спины электронов. Кубит может принимать не два различных значения ("0" и "1"), а несколько, соответствующих нормированным комбинациям двух основных состояний спина, что дает большое число возможных сочетаний. Так, 32 кубита могут образовать около 4 млрд состояний.

Кратные приставки для образования производных единиц для байта применяются не как обычно: 1) уменьшительные приставки не используются совсем, а единицы измерения информации меньшие, чем байт, называются специальными словами (нибл и бит); 2) увеличительные приставки означают за каждую тысячу $1024=2^{10}$ (килобайт равен 1024 байтам, мегабайт равен 1024 килобайтам, или 1048576 байтам; и т.д. с гига-, тера- и петабайтами).

Целые количества бит отвечают количеству состояний, равному степеням двойки. Особое название имеет 4 бита - нибл (полубайт, тетрада, четыре двоичных разряда), который вмещают в себя количество информации, содержащейся в одной шестнадцатеричной цифре.

Смысл единицы информации

Если задавать вопросы, на которые последует один из ответов "да" или "нет", то число вопросов будет точно соответствовать неопределенности задачи в битах. Можно закодировать эти ответы нулем ("нет") и единицей ("да"), тогда любая последовательность содержательных ответов будет представлена кодовой последовательностью определенной длины. Длина этой последовательности равна количеству информации, содержащейся в ответах.

Особенно это полезно, когда последовательность вопросов стандартна, а отвечают на них многие.

Например, врезавшуюся в память последовательность рекламируемых ответов на вопрос последнего референдума (честное слово, не помню, о чем он был): "да, да, нет, да" - можно представить кодом 1101.

Именно к байту (а не к биту) непосредственно приводятся все большие объёмы информации, исчисляемые в компьютерных технологиях. Для измерения больших количеств байтов служат единицы «килобайт» = 1000 байт и «Кбайт» (кибибайт) = 1024 байт. Единицы «мегабайт» = 1000 килобайт = 1000000 байт и «Мбайт» (мебибайт) = 1024 Кбайт = 1048576 байт применяются для измерения объёмов носителей информации. Единицы «гигабайт» = 1000 мегабайт = 1000000000 байт и «Гбайт» (гибибайт) = 1024 Мбайт = 230 байт измеряют объём больших носителей информации, например жёстких дисков. Для исчисления ещё больших объёмов информации имеются единицы терабайт-тебибайт (10^{12} и 2^{40} соответственно), петабайт-пебибайт (10^{15} и 2^{50} соответственно) и т. д.

Российский ГОСТ 8.417-2002 («Единицы величин») в «Приложении А» для обозначения байта регламентирует использование русской заглавной буквы «Б». Кроме того, констатируется традиция использования приставок СИ вместе с наименованием «байт» для указания двоичных множителей (1 Кбайт = 1024 байт, 1 Мбайт = 1024 Кбайт, 1 Гбайт = 1024 Мбайт и т. д.), причём используется прописная «К» вместо строчной «к», обозначающей множитель 10^3 . Использование прописной буквы «Б» для обозначения байта соответствует требованиям ГОСТ и позволяет избежать путаницы между сокращениями от байт и бит. Однако следует учитывать, что в стандарте нет сокращения для «бит», поэтому использование записи вроде «Гб» как синонима для «Гбит» недопустимо.

Замечание. Долгое время разнице между множителями 1000 и 1024 не придавали большого значения. Во избежание недоразумений следует чётко понимать различие между: двоичными кратными единицами, обозначаемыми согласно ГОСТ 8.417-2002 как «Кбайт», «Мбайт», «Гбайт» и т. д. (два в степенях кратных десяти); единицами килобайт, мегабайт, гигабайт и т. д., понимаемыми как научные термины (десять в степенях кратных трём). Последние равны соответственно 10^3 , 10^6 , 10^9 байт.

Информационный объём сообщения (информационная емкость сообщения) - количество информации в сообщении, измеренное в битах, байтах или производных единицах (Кбайтах, Мбайтах и т.д.).

В теории информации количеством информации называют числовую характеристику сигнала, которая не зависит от его формы и содержания и характеризует неопределенность, которая исчезает после получения сообщения в виде данного сигнала. В этом случае количество информации зависит от вероятности получения сообщения о том или ином событии.

Для абсолютно достоверного события (событие обязательно произойдет, поэтому его вероятность равна 1) количество информации в сообщении о нем равно 0. Чем невероятнее событие, тем большее количество информации несет сообщение о нем. Лишь при равновероятных ответах ответ «да» или «нет» несёт один бит информации.

Более строго единицу информации вводят, основываясь на определении информации:

$$I = K \ln P_0, \quad (1)$$

где K – постоянная, \ln – натуральный логарифм, P_0 – число возможных равновероятных событий.

Замечание. Не важно, какой именно логарифм выбрать, поскольку численные величины логарифмов по разным основаниям пропорциональны. Таким образом, вопрос выбора единицы измерения информации фактически равнозначен выбору основания для логарифма количества состояний. Следует помнить, что информация случайной величины точно равна логарифму количества состояний лишь при равномерном распределении. Во всех прочих случаях количество информации будет меньше.

Информация I – безразмерная величина (отвлечённое число), поэтому постоянная K – отвлечённое число. Наиболее удобная система основана на двоичных единицах:

$$K = \frac{1}{\ln 2} = \log_2 e. \quad (2)$$

Другая система единиц может быть введена, если мы сравним информацию с термодинамической энтропией и будем измерять обе величины в одних и тех же единицах. Энтропия имеет размерность энергии, деленной на температуру. Для энтропии имеется формула Больцмана, очень сходная с (1) и содержащая коэффициент

$$k=1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/градус} \quad (3)$$

Эта константа известна как постоянная Больцмана. Если мы введем эту постоянную k вместо K в (1), то мы будем измерять информацию в единицах энтропии. Мы можем сделать еще один шаг и выбрать единицы так, чтобы как энтропия, так и информация были безразмерными величинами и представлялись отвлеченными числами. Для этого нужно измерять температуру в единицах энергии. Обычная стоградусная шкала применима, если k имеет численное значение (3) и рассматривается как отвлеченное число. При этом отношение единиц наших двух систем также есть отвлеченное число, равное

$$\frac{k}{K} = k \ln 2 \approx 10^{-16}.$$

Это численное значение играет важную роль во всех применениях теории.

Соотношение между битом и энтропийной единицей

$$1 \text{ бит} = 2,3 \cdot 10^{-24} \text{ э.е.}$$

$$1 \text{ э.е.} = 4,3 \cdot 10^{23} \text{ бит}$$

Полученная Шенноном формула позволила вывести единицы измерения энтропии и количества информации. Для этого приравняем выражение для энтропии системы к единице:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i = 1 \quad (4)$$

где n - число возможных состояний системы n , \log - основание логарифма a , p_i - распределение вероятностей.

Для решения уравнения необходимо задаться из каких-либо соображений двумя переменными и вычислить третью.

Рассмотрим теперь единицы информации несколько подробнее.

БИТ

Рассмотрим физическую систему с двумя равновероятными состояниями. Количество информации равно единице может быть получено, если в формуле Шеннона и взять логарифм по основанию 2. Пусть $n=2$, тогда

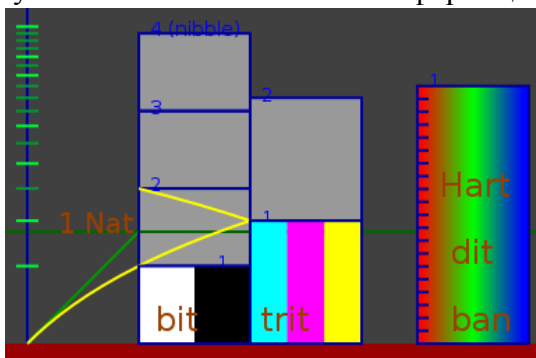
$$H = -\frac{1}{2} \log p_1 - \frac{1}{2} \log p_2 = -\log \frac{1}{2} = \log_2 2 = 1 \quad (5)$$

Следовательно, в данном случае единицей энтропии служит энтропия системы с двумя равновероятными состояниями, вычисленная с помощью логарифма с основанием два. Полученная единица количества информации, представляющая собой выбор из двух равновероятных событий, получила название двоичной единицы, или бита.

Другими словами, если мы приняли, что информация – это устраненная неопределенность, тогда в случае неопределенности физической системы с двумя равновероятными состояниями выбор будет производиться между двумя взаимоисключающими друг друга равновероятными сообщениями, например, между двумя качественными признаками: положительным и отрицательным импульсами, импульсом и паузой и т.п. Количество информации, переданное в этом простейшем случае, принято за единицу

количества информации - бит. Бит является единицей количества информации и представляет собой информацию, содержащуюся в одном дискретном сообщении источника равновероятных сообщений с объемом алфавита равного двум.

Рис. 1. Сравнение разных единиц измерения информации. Дискретные величины представлены прямоугольниками, единица «нат» - горизонтальным уровнем. Риски слева - логарифмы натуральных чисел.



За единицу информации можно было бы выбрать количество информации, необходимое для различения, например, десяти равновероятных сообщений. Это будет не двоичная (бит), а десятичная (дит)

единица информации. Объёмы информации можно представлять как логарифм количества состояний. Бит (бело-чёрный) - одна из самых известных используемых единиц информации. Наименьшее целое число, логарифм которого положителен - 2. Соответствующая ему единица – бит - является основой исчисления информации в цифровой технике. Замена основания логарифма 2 на e , 3 или 10 приводит соответственно к редко употребляемым единицам нат, трит и хартли=дит, равным соответственно: $\log_2 e \approx 10/7$, $\log_2 3 \approx 8/5 \approx 1,585$, $\log_2 10 \approx 19/3 \approx 3,322$ бита. Единица как нат (nat, е-бит), соответствующая натуральному логарифму применяется в вычислительной технике в инженерных и научных расчётах.

Не важно, какой именно логарифм выбрать, поскольку численные величины логарифмов по разным основаниям пропорциональны. Таким образом, вопрос выбора единицы измерения информации фактически равнозначен выбору основания для логарифма количества состояний. Следует также заметить, что информация случайной величины точно равна логарифму количества состояний лишь при равномерном распределении. Во всех прочих случаях количество информации будет меньше.

ДИТ (ХАРТЛИ)

За единицу информации можно выбрать количество информации, необходимое для различения, например, десяти равновероятных сообщений. Это будет не двоичная (**бит**), а десятичная (**дит**) единица информации.

Возьмем основание логарифма равным 10-ти и рассмотрим физическую систему с числом n равновероятных состояний. Определим, чему должна быть равна переменная n , чтобы количество информации в формуле Шеннона было равно единице, когда взят логарифм по основанию 10:

$$p_i = \frac{1}{n}, \quad i = 1, \dots, n$$

Пусть $a=10$ и

$$H = -\sum_1^n \log_{10} \frac{1}{n} = 1$$

Отсюда следует, что тогда число состояний $n=10$. Итак, дит – это энтропия системы с десятью равновероятными состояниями, вычисленная с помощью логарифма с основанием десять.

$$\log_{10} n = 1$$

Можно заметить, что основание логарифма равно числу состояний. Это – важное замечание! Перейдем теперь к рассмотрению виртуальной системы с количеством состояний, равным натуральной единице e . Дит - единица количества информации, содержащейся в одном дискретном сообщении источника равновероятных сообщений с объемом алфавита, равного десяти.

Смысл энтропии и информации

Содержательно энтропия является мерой разнообразия системы, ее значение тем больше, чем больше число возможных состояний, чем более равными являются возможности выбора отдельных состояний. В этом смысле она противоположна мере неравенства. .

Являясь мерой неопределенности, мерой нашего незнания, энтропия измеряет трудность решения задачи. .

Информация оценивает уменьшение этой трудности, показывает, в какой мере полученное сообщение облегчает решение задачи.

Информацию можно использовать как удобный способ измерения реальной ценности сообщений, независимо от того, насколько оно длинно и многословно.

НАТ

Если взять физическую систему с e состояниями, получим натуральную единицу количества информации, называемую натом, при этом основание логарифма в формуле Шеннона равно $e=2,7$.

Взаимосвязь между единицами количества информации:

$$1 \text{ бит} = \frac{1}{1,51} \text{ нат} = \frac{1}{3,32} \text{ дит}$$

Таким образом, единицы измерения информации зависят от основания логарифма. В случае логарифма с основанием 2 единицей измерения является бит, если используется натуральный логарифм - то нат, если десятичный - то хартли.

Основание логарифма	Единица измерения	Количество информации о падении монеты «орлом» вверх
2	бит	$-\log_2(1/2) = \log_2 2 = 1$ бит
e	нат	$-\ln(1/2) = \ln 2 \approx 0,69$ ната
10	хартли	$-\log_{10}(1/2) = \log_{10} 2 \approx 0,30$ хартли

2. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Шеннон измерял количество информации как меру достоверности передаваемого сигнала в битах. Для этого он использовал функцию, отдалённо напоминающую функцию энтропии Л.Больцмана. Н.П. Рашевский В 1955 году предложил топологический подход для измерения количества информации. В 1965 году академик А.Н. Колмогоров предложил алгоритмическое определение количества информации. Количество информации по Колмогорову определяется как минимальная длина программы, позволяющая однозначно преобразовать один объект (множество) в другой объект (множество). Чем больше различаются объекты, тем длиннее оказывается переход от одного к другому, тем больше разность количества информации между этими объектами. Метод Колмогорова не позволяет определять абсолютное количество информации, содержащейся в объекте, но может определять приращение информации. Этот метод универсален. Он может быть реализован, как для оценки **функциональной** информации, так и для оценки **атрибутивной** информации.

Энтропия

На прошлой лекции мы рассматривали распределения богатства. Рассмотрим теперь распределение совсем другого типа.

Будем считать, что некоторая система X может находиться в одном из n состояний (x_1, x_2, \dots, x_n) с вероятностями соответственно (p_1, p_2, \dots, p_n) $p_i \geq 0, p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$. Если какая-либо из вероятностей p_i не равна 1, то определить состояние системы однозначно нельзя, иначе говоря, система обладает неопределённостью.

Можно показать, вводя аксиомы неопределённости, подобные тем, которые были введены в прошлой лекции, что единственной функцией, измеряющей неопределённость, является

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i.$$

*Эта функция, впервые введенная американским математиком Клодом Шенноном, называется **энтропией**.*

Ситуация с определением количества информации в чём-то напоминает ситуацию с определением внутренней энергии, содержащейся в веществе. Обычно полная внутренняя энергия неизвестна. Она может быть очень велика. Определяют только приращение энергии, происходящее при изменении состояния объекта. Химики ограничиваются рассмотрением только энергии химических связей. Физики к этому могут приплюсовать энергию связей между нуклонами атомных ядер. Если идти дальше в глубь микромира, то каждый нуклон имеет свою внутреннюю энергию (связь между кварками, образующими нуклон). А далее возникает энергия вакуума и ещё неизвестно чего. А сколько же энергии в грамме вещества? Нет ответа.

Но проблема с измерением количества энергии это всё же пустяк, по сравнению с проблемой измерения количества информации по Колмогорову. Все виды энергии можно измерять известными единицами (джоуль, ватт, электрон-вольт). А какими единицами измерять информацию, как перейти от одного разнообразия к другому? Как, например, составить алгоритм перевода слона в мышь? Квадрат перевести в треугольник ещё можно. А как перевести один цвет в другой или один запах в другой? Кто станет возражать против того, что цвет и запах это тоже вид информации. Все эти трудности привели в ходе эволюции к особым приёмам переработки информации в человеческом мозге, которые можно назвать моделированием и системным взглядом на мир. Измерение информации носит признаки релятивизма (относительности). Отсутствие нуля (абсолютной точки отсчета) делает все сравнения относительными.

Очевидно, что среда совершенно однородная может быть принята за отсутствие разнообразия. Совершенно однородная среда (процесс) несёт очень мало информации для наблюдателя, но все-таки информация есть, т.к. сообщается сам факт присутствия однородного объекта. Как видно, проблема нуля информации и бесконечности в общем виде не решена. Решения имеются лишь в частных случаях (у Шеннона). Нечто похожее имеет место в специальной теории относительности, где для измерений и

наблюдений нет начальной, неподвижной точки отсчета. Выбор произвольной точки отсчета делает относительным понятие одновременности, темп хода времени может изменяться и т.д.

Теорема Шеннона

Теорема Шеннона (на самом деле это около десятка теорем для различных условий) устанавливает возможность передачи информации по каналу связи.

Теорема Шеннона. Если пропускная способность канала связи C больше энтропии источника сообщений H , то можно закодировать сообщения таким образом, что передача будет произведена в среднем без задержек.

Смысл теоремы Шеннона состоит в том, если пропускная способность канала связи достаточно большая, то хотя временные задержки возможны, но они когда-нибудь "рассосутся".

Клод Шеннон работал в телефонной компании Bell Laboratories. Гениальный инженер и математик – доказанные, указанные и угаданные им теоремы десятки лет строго доказывали математики.

Разработаны различные способы оценки количества информации. В технике чаще всего используется способ оценки, предложенный К. Шенноном.

Информация уничтожает неопределенность. Степень неопределенности принято характеризовать с помощью понятия «вероятность».

Вероятность - величина, которая может принимать значения в диапазоне от 0 до 1. Она может рассматриваться как мера возможности наступления какого-либо события, которое может иметь место в одних случаях и не иметь места в других.

Если событие никогда не может произойти, его вероятность считается равной 0. Так, вероятность события "*Завтра будет 5 августа 1832 года*" равна нулю в любой день, кроме 4 августа 1832 года. Если событие происходит всегда, его вероятность равна 1.

Чем больше вероятность события, тем выше уверенность в том, что оно произойдет, и тем меньше информации содержит сообщение об этом событии. Когда же вероятность события мала, сообщение о том, что оно случилось, очень информативно. Исходя из понятия «информационный пакет», возникает возможность измерять атрибутивную информацию количеством и размерами информационных пакетов в единице объема.

Бит как единица информации не привязан конкретно к виду информационного пакета. Поэтому можно содержание информации определять не абсолютно, а относительно каких либо конкретных информационных пакетов. Например, 10 коров и 10 домов могут содержать одинаковое количество информации с точки зрения субъекта. Хотя внутри этих информационных пакетов скрыто от наблюдателя огромное количество пока не нужной информации.

Информационный пакет может быть принят за условную единицу количества атрибутивной информации. Один пакет – одна единица независимо от сложности пакета. Нуклоны содержат три единицы информации (3 кварка). Ядра атомов от одного до сотни единиц (нуклоны). Клетка – сотни миллионов молекул и т.д. Подход явно субъективный, так как точка отсчета количества информации принимается произвольно. Но там, где приходится оперировать с бесконечностями, другого выхода нет. Именно поэтому, согласно теории систем, элемент системы выбирается произвольно. «Элементом сложной системы считается некоторая ее часть, достаточная для понимания функционирования системы». Например, элемент автомобиля это карбюратор, колесо, коленчатый вал, но не атом железа, который является материальной основой всех перечисленных узлов. Элементом человека для анатома являются внутренние органы. Для цитолога – клетки, для химика – белки. Любой объект можно дробить на более мелкие части, но слишком большое дробление не внесет ясности в понимание функционирования объекта, поэтому деление всегда ограничивается некоторым элементом. Как видно, элемент системы и информационный пакет – синонимы.

Существует ещё проблема идентичности объектов. Если два объекта (события) неотличимы, имеющимися у наблюдателя средствами, то из этого не следует, что они идентичны. Порог различимости состояний зависит от очень многих условий. Неразличимость двух объектов по Колмогорову указывает на то, что в них содержится одинаковое количество информации. Однако усовершенствование методов наблюдения может позволить выявить отличия и тогда неизвестно, откуда появится новая информация. Помехи и шумы также маскируют различия между объектами (сигналами). Полное устранение шумов

невозможно, поэтому идентичность объектов является условной, субъективной. В связи с выше изложенным, становится понятным, например, почему мы считаем, что все атомы водорода одинаковы, а молекулы воды и др. соединений неотличимы друг от друга. Это искусственный приём упрощения осуществляется с целью возможности описания. В противном случае из-за безграничного количества информации наши интеллектуальные системы не смогли бы перерабатывать её и соответственно принимать решения. Фактически молекулы содержат разное количество движения и этим отличаются друг от друга. Мы замещаем объект его упрощенным образом – моделью и только это позволяет строить картину мира, хотя и в упрощенном варианте. Моделирование означает признание того, что в каждом объекте содержится если не бесконечное, то хотя бы неизмеримое количество информации.

Таким образом, полное количество информации в некотором объекте измерить не возможно. Можно измерить различие в содержании информации двух разных объектов, причём нулевое количество информации выбирается условно. Количество информации в объекте можно характеризовать количеством информационных пакетов выбранного произвольного уровня, входящих в объект. Один пакет - один бит.

Количество информации I , характеризующей состояние, в котором пребывает объект, можно определить, используя формулу Шеннона:

$$I = - [p_1 * \log_2(p_1) + p_2 * \log_2(p_2) + \dots + p_n * \log_2(p_n)], \quad (6)$$

здесь n - число возможных состояний; p_1, \dots, p_n - вероятности отдельных состояний. Знак минус перед суммой позволяет получить положительное значение для I , поскольку значение $\log_2(p_i)$ всегда не положительно.

Формула Шеннона, в принципе, может быть использована и для оценки количества информации в непрерывных величинах.

При оценке количества дискретной информации часто используется также **формула Хартли**:

$$I = \log_2(n), \quad (7)$$

где n - число возможных равновероятных состояний.

Формула Хартли применяется в случае, когда вероятности состояний, в которых может находиться объект, одинаковые.

Итак, количество информации в сообщении зависит от числа разнообразий, присущих источнику информации и их вероятностей.

Единицы измерения информации служат для измерения объёма информации - величины, исчисляемой логарифмически. Это означает, что когда несколько объектов рассматриваются как один, количество возможных состояний перемножается, а количество информации - складывается. Не важно, идёт речь о случайных величинах в математике, регистрах цифровой памяти в технике или в квантовых системах в физике. Чаще всего измерение информации касается объёма компьютерной памяти и объёма данных, передаваемых по цифровым каналам связи.

Понятие количества информации естественно возникает, например, в следующих типовых случаях:

1. Равенство вещественных переменных $a=b$, заключает в себе информацию о том, что a равно b . Про равенство $a^2=b^2$ можно сказать, что оно несет меньшую информацию, чем первое, т.к. из первого следует второе, но не наоборот. Равенство $a^3=b^3$ несет в себе информацию по объёму такую же, как и первое;
2. Пусть происходят некоторые измерения с некоторой погрешностью. Тогда чем больше будет проведено измерений, тем больше информации об измеряемой сущности будет получено;
3. Математическое ожидание некоторой случайной величины, содержит в себе информацию о самой случайной величине. Для случайной величины, распределенной по нормальному закону, с известной дисперсией знание математического ожидания дает полную информацию о случайной величине;
4. Рассмотрим схему передачи информации. Пусть передатчик описывается случайной величиной, X , тогда из-за помех в канале связи на приёмник будет приходить случайная величина, $Y=X+Z$, где Z - это случайная величина, описывающая помехи. В этой схеме можно говорить о количестве информации, содержащейся в случайной величине, Y , относительно X . Чем ниже уровень помех (дисперсия Z мала), тем больше информации можно получить из Y . При отсутствии помех Y содержит в себе всю информацию об X . *Мерой количества информации, связанной с тем или иным объектом или явлением, может служить редкость его встречаемости или сложность его структуры.*

3. ИЗМЕРЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Информация является важнейшим понятием и основным объектом изучения в информатике. Неудивительно поэтому, что проблема измерения информации имеет фундаментальное значение.

В информатике, как правило, измерению подвергается информация, представленная дискретным сигналом. При этом различают следующие подходы:

1. **Структурный (алфавитный, объёмный).** Измеряет количество информации простым подсчетом информационных элементов, составляющих сообщение. Применяется для оценки возможностей запоминающих устройств, объемов передаваемых сообщений, инструментов кодирования без учета статистических характеристик их эксплуатации. Алфавитный подход к измерению информации не связывает количество информации с содержанием сообщения. Это - объективный подход к измерению информации. Он удобен при использовании технических средств работы с информацией, т.к. не зависит от содержания сообщения. Количество информации зависит от объема текста и мощности алфавита. Ограничений на максимальную мощность алфавита нет, но есть достаточный алфавит мощностью 256 символов. Этот алфавит используется для представления текстов в компьютере. Поскольку $256=2^8$, то один символ несет в тексте 8 бит информации.

2. **Статистический (вероятностный).** Учитывает вероятность появления сообщений: более информативным считается то сообщение, которое менее вероятно, т.е. менее всего ожидалось. Применяется при оценке значимости получаемой информации. Все события происходят с различной вероятностью, но зависимость между вероятностью событий и количеством информации, полученной при совершении того или иного события можно выразить формулой которую в 1948 году предложил Шеннон.

3. **Семантический (содержательный).** Учитывает целесообразность и полезность информации. Применяется при оценке эффективности получаемой информации и её соответствия реальности. Сообщение – информативный поток, который в процессе передачи информации поступает к приемнику. Сообщение несёт информацию для человека, если содержащиеся в нем сведения являются для него новыми и понятными. Информация - знания человека - сообщение должно быть информативно. Если сообщение не информативно, то количество информации с точки зрения человека = 0. (Пример: вузовский учебник по высшей математике содержит знания, но они не доступны 1-класснику)

Количество информации - мера уменьшения неопределенности

Информационный объем сообщения (информационная ёмкость сообщения) - количество информации в сообщении, измеренное в битах, байтах или производных единицах (Кбайтах, Мбайтах и т.д.).

3.1 Структурный подход

В рамках *структурного подхода* выделяют три меры информации:

- **геометрическая.** Определяет максимально возможное количество информации в заданных объемах. Мера может быть использована для определения информационной емкости памяти компьютера;
- **комбинаторная.** Оценивает возможность представления информации при помощи различных комбинаций информационных элементов в заданном объеме. Комбинаторная мера может использоваться для оценки информационных возможностей некоторой системы кодирования;
- **аддитивная**, или мера Хартли.

Геометрическая мера определяет максимально возможное количество информации в заданных объемах. Единица измерения – информационный элемент. Мера может быть использована для определения информационной емкости памяти компьютера. В этом случае в качестве информационного элемента выступает минимальная единица хранения – бит.

Пример 1. Пусть сообщение 5555 6666 888888 закодировано одним из специальных методов эффективного кодирования – кодирование повторений – и имеет вид: 5(4) 6(4) 8(6). Требуется измерить информацию в исходном и закодированном сообщениях геометрической мерой и оценить эффективность кодирования. В качестве информационного элемента зададимся символом сообщения. Тогда: $I^{(исх.)} = I^{(исх.)} = 14$ символов; $I^{(закод.)} = I^{(закод.)} = 12$ символов, где $I^{(исх.)}$, $I^{(закод.)}$ – количества информации, соответственно, в исходном и закодированном сообщениях; $I^{(исх.)}$, $I^{(закод.)}$ – длины (объемы) тех же сообщений, соответственно. Эффект кодирования определяется как разница между $I^{(исх.)}$ и $I^{(закод.)}$ и составляет 2 символа.

Очевидно, геометрическая мера не учитывает, какими символами заполнено сообщение. Так, одинаковыми по количеству информации, измеренной геометрической мерой, являются, например, сообщения «компьютер» и «программа»; а также 346 и 10В.

Комбинаторная мера оценивает возможность представления информации при помощи различных комбинаций информационных элементов в заданном объеме. Использует типы комбинаций элементов и соответствующие математические соотношения, которые приводятся в одном из разделов дискретной математики – комбинаторике.

Комбинаторная мера может использоваться для оценки информационных возможностей некоторого автомата, который способен генерировать дискретные сигналы (сообщения) в соответствии с определенным правилом комбинаторики. Пусть, например, есть автомат, формирующий двузначные десятичные целые положительные числа (исходное множество информационных элементов $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$). В соответствии с положениями комбинаторики, данный автомат генерирует размещения (различаются числа, например, 34 и 43) из 10 элементов (используются 10 цифр) по 2 (по условию задачи, формируются двузначные числа) с повторениями (очевидно, возможны числа, состоящие из одинаковых цифр, например, 33). Тогда можно оценить, сколько различных сообщений (двузначных чисел) может сформировать автомат, иначе говоря, можно оценить информационную емкость данного устройства: $P^n(10^2) = 10^2 = 100$.

Комбинаторная мера используется для определения возможностей кодирующих систем, которые широко используются в информационной технике.

Пример 1. Определить емкость ASCII-кода, представленного в двоичной или шестнадцатеричной системе счисления. ASCII-код – это сообщение, которое формируется как размещение с повторениями: 1) для двоичного представления – из информационных элементов $\{0, 1\}$, сообщение длиной (объемом) 8 символов; 2) для шестнадцатеричного представления – из информационных элементов $\{0, 1, 2, \dots, A, B, C, \dots, F\}$, сообщение длиной (объемом) 2 символа. Тогда в соответствии с положениями комбинаторики: $I^{(\text{двоичное})} = P^n(2^8) = 2^8 = 256$; $I^{(\text{шестнадцатеричное})} = P^n(16^2) = 16^2 = 256$, где $I^{(\text{двоичное})}$, $I^{(\text{шестнадцатеричное})}$ – количества информации, соответственно, для двоичного и шестнадцатеричного представления ASCII-кода. Таким образом, емкость ASCII-кода для двоичного и шестнадцатеричного представления одинакова и равна 256.

Следует отметить, что все коды постоянной длины формируются по правилам комбинаторики или их комбинациям. В случае, когда сообщения формируются как размещения с повторениями из элементов алфавита мощности h и известно количество сообщений M , можно определить требуемый объем сообщения (т.е. его длину l) для того, чтобы в этом объеме представить все сообщения: $l = \log_h M$. Например, есть 4 сообщения – a, b, c, d . Выполняется двоичное кодирование этих сообщений кодом постоянной длины. Для этого требуются 2 двоичных разряда. В самом деле: $l = \log_2 4 = 2$.

Очевидно, комбинаторная мера является развитием геометрической меры, так как помимо длины сообщения учитывает объем исходного алфавита и правила, по которым из его символов строятся сообщения. Особенностью комбинаторной меры является то, что ею измеряется информация не конкретного сообщения, а всего множества сообщений, которые могут быть получены.

Единицей измерения информации в комбинаторной мере является число комбинаций информационных элементов.

Аддитивная мера предложена – мера Хартли. Хартли впервые ввел специальное обозначение для количества информации – I и предложил следующую логарифмическую зависимость между количеством информации и мощностью исходного алфавита: $I = l \log h$, где I – количество информации, содержащейся в сообщении; l – длина сообщения; h – мощность исходного алфавита. При исходном алфавите $\{0, 1\}$; $l = 1$; $h = 2$ и основании логарифма, равном 2, имеем $I = 1 \cdot \log_2 2 = 1$. Данная формула даёт аналитическое определение бита по Хартли: это количество информации, которое содержится в двоичной цифре. Единицей измерения информации в аддитивной мере является бит.

Пример 1. Рассчитать количество информации, которое содержится в шестнадцатеричном и двоичном представлении ASCII-кода для числа 1. В соответствии с таблицей ASCII-кодов имеем: шестнадцатеричное представление числа 1 – 31, двоичное представление числа 1 – 00110001. Тогда по формуле Хартли получаем: для шестнадцатеричного представления $I = 2 \log_2 16 = 8$ бит; для двоичного представления $I = 8 \log_2 2 = 8$ бит. Таким образом, разные представления ASCII-кода для одного символа содержат одинаковое количество информации, измеренной аддитивной мерой.

Структурный (объёмный или алфавитный) подход основан на определении количества информации в каждом из знаков дискретного сообщения с последующим подсчетом количества этих знаков в сообщении. В простейшем варианте он заключается *подсчете числа символов в сообщении*, т. е. связан только с длиной сообщения и не учитывает его содержания. Длина сообщения зависит от числа знаков, употребляемых для записи сообщения. Например, слово «мир» в русском алфавите записывается тремя знаками, в английском – пятью (*peace*), а в КОИ -8 – двадцатью четырьмя битами (111011011110100111110010).

АЛФАВИТНЫЙ ПОДХОД К ИЗМЕРЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ

АЛФАВИТ – это вся совокупность символов, используемых в некотором языке для представления информации
МОЩНОСТЬ АЛФАВИТА (N) – это число символов в алфавите.

$$2^i = N$$

N МОЩНОСТЬ АЛФАВИТА
число символов в алфавите (его размер)

i ИНФОРМАЦИОННЫЙ ВЕС СИМВОЛА
количество информации в одном символе

$$N \rightarrow i \rightarrow I \leftarrow K$$

$$I = K \times i$$

K ЧИСЛО СИМВОЛОВ В СООБЩЕНИИ

I КОЛИЧЕСТВО ИНФОРМАЦИИ В СООБЩЕНИИ

Пример

Исходное сообщение		Количество информации		
на языке	в машинном представлении (КОИ - 8)	в символах	в битах	в байтах
рим	11110010 11101001 11101101	3	24	3
мир	11101101 11101001 11110010	3	24	3
миру мир!	11101101 11101001 11110010 11110101 00100000 11101101 1110101 11110010 00100001	9	72	9
(** */	00101000 00101010 00101010 00100000 00101010 00101111	6	48	6

Количество информации в техническом сообщении совпадает с количеством символов (нулей и единиц) в нём. Так, в слове «Рим» содержится 24 бита (3 байта) информации, а в «Миру мир!» – 72 бита (9 байтов).

В 100 Мб это много или мало? 100 Мб могут вместить:

страниц текста	50 000 или 150 романов
цветных слайдов высочайшего качества	150
аудиозапись речи видного политического деятеля	1.5 часа
музыкальный фрагмент качества CD -стерео	10 минут
фильм высокого качества записи	15 секунд
протоколы операций с банковским счётом	за 1000 лет

Пусть сообщение кодируется с помощью некоторого набора знаков. Заметим, что если для данного набора установлен порядок следования знаков, то он называется алфавитом. Наиболее сложной частью работы при объемном измерении информации является определение количества информации, содержащейся в каждом отдельном символе: остальная часть процедуры весьма проста. Для определения информации в одном символе алфавита можно также использовать вероятностные методы, поскольку появление конкретного знака в конкретном месте текста есть явление случайное.

Самый простой метод подсчета заключается в следующем. Пусть алфавит, с помощью которого записываются все сообщения, состоит из M символов. Для простоты предположим, что все они появляются в тексте с одинаковой вероятностью (конечно, это грубая модель, но зато очень простая). Тогда в рассматриваемой постановке применима формула Хартли для вычисления информации об одном из исходов события (о появлении любого символа алфавита): $I = \log_2 M$. Поскольку все символы «равноправны», естественно, что объем информации в каждом из них одинаков. Следовательно, остается полученное значение I умножить на количество символов в сообщении, и мы получим общий объем информации в нем. Осмысленность сообщения в описанной процедуре нигде не требуется, напротив,

именно при отсутствии смысла предположение о равновероятном появлении всех символов выполняется лучше всего!



Описанный простой способ кодирования, когда коды всех символов имеют одинаковую длину, не является единственным. Часто при передаче или архивации информации по соображениям экономичности тем символам, которые встречаются чаще, ставятся в соответствие более короткие коды и наоборот. Можно показать, что при любом варианте кодирования (чем экономичнее способ кодирования, тем меньше разница между этими величинами).

Проиллюстрируем алфавитный подход на примере анализа русского текста.

Метод двоичного поиска

Игра, использующая метод двоичного поиска

Игра: Требуется угадать задуманное число из данного диапазона целых чисел. Игрок, отгадывающий число, задает вопросы, на которые можно ответить только «да» или «нет». Если каждый ответ отгадывающему варианту (умножается выбор 2 раза), то окисел 1 бит информации. Тогда общее количество информации (в битах), полученной при угадывании числа, равно количеству заданных вопросов.

Пример: требуется угадать задуманное число из диапазона от 1 до 8

1. Число меньше 5? Нет 1 бит
2. Число меньше 7? Да 1 бит
3. Это число 5? Нет 1 бит

В возможных вариантах - 3 вопроса - 3 бита информации

Все множество используемых в языке символов будем традиционно называть алфавитом. Обычно под алфавитом понимают только буквы, но поскольку в тексте могут встречаться знаки препинания, цифры, скобки, то мы их тоже включим в алфавит. В алфавит также следует включить и пробел, т.е. пропуск между словами. Полное количество символов алфавита принято называть мощностью алфавита. Будем обозначать эту величину буквой N . Например, мощность алфавита из русских букв и отмеченных дополнительных символов равна 54. Представьте себе, что текст к вам поступает последовательно, по одному знаку, словно бумажная ленточка, выползающая из телеграфного аппарата. Предположим, что каждый появляющийся на ленте символ с одинаковой вероятностью может быть любым символом алфавита. В действительности это не совсем так, но для упрощения примем такое предположение. В каждой очередной позиции текста может появиться любой из N символов. Тогда, согласно известной нам формуле, каждый такой символ несет I бит информации, которое можно определить из решения уравнения: $2^I = N$. Получаем: $I = 5.755$ бит. Вот сколько информации несет один символ в русском тексте! А теперь для того, чтобы найти количество информации во всем тексте, нужно посчитать число символов в нем и умножить на I . Посчитаем количество информации на одной странице книги. Пусть страница содержит 50 строк. В каждой строке - 60 символов. Значит, на странице умещается $50 \times 60 = 3000$ знаков. Тогда объем информации будет равен: $5.755 \times 3000 = 17265$ бит.

При алфавитном подходе к измерению информации количество информации зависит не от содержания, а от размера текста и мощности алфавита.

Применение алфавитного подхода удобно при использовании технических средств работы с информацией. В этом случае теряют смысл понятия «новые — старые», «понятные — непонятные»

сведения. Алфавитный подход является объективным способом измерения информации в отличие от субъективного содержательного подхода. Удобнее всего измерять информацию, когда размер алфавита N равен целой степени двойки. Например, если $N=16$, то каждый символ несет 4 бита информации потому, что $2^4 = 16$. А если $N=32$, то один символ «весит» 5 бит.

Ограничения на максимальный размер алфавита теоретически не существует. Однако есть алфавит, который можно назвать достаточным. С ним мы скоро встретимся при работе с компьютером. Это алфавит мощностью 256 символов. В алфавит такого размера можно поместить все практически необходимые символы: латинские и русские буквы, цифры, знаки арифметических операций, всевозможные скобки, знаки препинания.... Поскольку $256 = 2^8$, то один символ этого алфавита «весит» 8 бит. Причем 8 бит информации - это настолько характерная величина, что ей даже присвоили свое название - *байт*.

Вычисление количества информации

$2^i = N$

N - количество равновероятных событий
 i - количество информации в сообщении о том, что произошло одно из N равновероятных событий

Задача 1. При угадывании целого числа в диапазоне от 1 до N было получено 6 бит информации. Чему равно N ?

Решение: значение N определяется по формуле **$2^i = N$** .
После подстановки $i=6$, получаем $N = 2^6 = 64$.

Задача 2. В корзине лежат 16 шаров разного цвета. Сколько информации несет сообщение о том, что из корзины достали красный шар?

Решение: высказывание любого из 16 шаров - события равновероятны.
Поэтому для решения задачи применим формулу **$2^i = N$** , получаем
ответ: $i = 4$ бита.

Сегодня очень многие люди для подготовки писем, документов, статей, книг и пр. используют компьютерные текстовые редакторы. Компьютерные редакторы, в основном, работают с алфавитом размером 256 символов. В этом случае легко подсчитать объем информации в тексте. Если 1 символ алфавита несет 1 байт информации, то надо просто сосчитать количество символов; полученное число даст информационный объем текста в байтах.

Пусть небольшая книжка, сделанная с помощью компьютера, содержит 150 страниц; на каждой странице - 40 строк, в каждой строке - 60 символов. Значит страница содержит $40 \cdot 60 = 2400$ байт информации. Объем всей информации в книге: $2400 \cdot 150 = 360\,000$ байт.

Сообщение, уменьшающее неопределенность знаний в два раза, несет 1 бит информации.

Примеры:

1. Определить информацию, которую несет в себе 1-й символ в кодировках ASCII и Unicode.

В алфавите ASCII предусмотрено 256 различных символов, т.е. $M = 256$, а

$$I = \log_2 256 = 8 \text{ бит} = 1 \text{ байт}$$

В современной кодировке Unicode заложено гораздо большее количество символов. В ней определено 256 алфавитных страниц по 256 символов в каждой. Предполагая для простоты, что все символы используются, получим, что

$$I = \log_2 (256 \cdot 256) = 8 + 8 = 16 \text{ бит} = 2 \text{ байта}$$

2. Текст, сохраненный в коде ASCII, состоит исключительно из арифметических примеров, которые записаны с помощью 10 цифр от 0 до 9, 4 знаков арифметических операций, знака равенства и некоторого служебного кода, разделяющего примеры между собой. Сравните количество информации, которое несет один символ такого текста, применяя вероятностный и алфавитный подходы. Легко подсчитать, что всего рассматриваемый в задаче текст состоит из $N = 16$ различных символов. Следовательно, по формуле Хартли $I_{\text{вероятностная}} = \log_2 16 = 4$ бита

В то же время, согласно вычислениям примера 3, для символа ASCII

$$I_{\text{алфавитная}} = 8 \text{ бит}$$



Табл. 1. Количество информации в сообщении об одном из N равновероятных событий:

N	i	N	i	N	i	N	i
1	0,00000	17	4,08746	33	5,04439	49	5,61471
2	1,00000	18	4,16993	34	5,08746	50	5,64386
3	1,58496	19	4,24793	35	5,12928	51	5,67243
4	2,00000	20	4,32193	36	5,16993	52	5,70044
5	2,32193	21	4,39232	37	5,20945	53	5,72792
6	2,58496	22	4,45943	38	5,24793	54	5,75489
7	2,80735	23	4,52356	39	5,28540	55	5,78136
8	3,00000	24	4,58496	40	5,32193	56	5,80735
9	3,16993	25	4,64386	41	5,35755	57	5,83289
10	3,32193	26	4,70044	42	5,39232	58	5,85798
11	3,45943	27	4,75489	43	5,42626	59	5,88264
12	3,58496	28	4,80735	44	5,45943	60	5,90689
13	3,70044	29	4,85798	45	5,49185	61	5,93074
14	3,80735	30	4,90689	46	5,52356	62	5,95420
15	3,90689	31	4,95420	47	5,55459	63	5,97728
16	4,00000	32	5,00000	48	5,58496	64	6,00000

3.2 Статистический подход к измерению информации

Другой подход к измерению информации - **статистический (вероятностный)** - информация как снятая неопределенность. К. Шеннон предложил связать количество информации, которое несёт в себе некоторое сообщение, с вероятностью получения этого сообщения.

Понятие количества информации естественно возникает, например, в следующих типовых случаях:

1. Равенство вещественных переменных $a = b$, включает в себе информацию о том, что a равно b . Про равенство $a^2 = b^2$ можно сказать, что оно несет меньшую информацию, чем первое, т.к. из первого следует второе, но не наоборот. Равенство $a^3 = b^3$ несёт в себе информацию по объему такую же, как и первое;
 2. Пусть происходят некоторые измерения с некоторой погрешностью. Тогда чем больше будет проведено измерений, тем больше информации об измеряемой сущности будет получено;
 3. Математическое ожидание некоторой случайной величины, содержит в себе информацию о самой случайной величине. Для случайной величины, распределенной по нормальному закону, с известной дисперсией знание математического ожидания дает полную информацию о случайной величине;
 4. Рассмотрим схему передачи информации. Пусть передатчик описывается случайной величиной, X , тогда из-за помех в канале связи на приемник будет приходить случайная величина, $Y = X + Z$, где Z - это случайная величина, описывающая помехи. В этой схеме можно говорить о количестве информации, содержащейся в случайной величине, Y , относительно X . Чем ниже уровень помех (дисперсия Z мала), тем больше информации можно получить из Y . При отсутствии помех Y содержит в себе всю информацию об X .
- Вероятность p** – количественная априорная (т.е. известная до проведения опыта) характеристика одного из исходов (событий) некоторого опыта. Измеряется в пределах от 0 до 1. Если заранее известны все исходы опыта, сумма их вероятностей равна 1, а сами исходы составляют **полную группу событий**. Если все исходы могут свершиться с одинаковой долей вероятности, они называются **равновероятными**.

Вероятность - численная мера достоверности случайного события, которая при большом числе испытаний близка к отношению числа случаев, когда событие осуществилось с положительным исходом, к общему числу случаев. Два события называют равновероятными, если их вероятности совпадают.

Примеры равновероятных событий

1. при бросании монеты: «выпала решка», «выпал орёл»;
2. на странице книги: «количество букв чётное», «количество букв нечётное»;
3. при бросании игральной кости: «выпала цифра 1», «выпала цифра 2», «выпала цифра 3», «выпала цифра 4», «выпала цифра 5», «выпала цифра 6».

Неравновероятные события

Определим, являются ли равновероятными сообщения «первой из дверей здания выйдет женщина» и «первым из дверей здания выйдет мужчина». Однозначно ответить на этот вопрос нельзя. Во-первых, как известно количество мужчин и женщин неодинаково. Во-вторых, все зависит от того, о каком именно здании идет речь. Если это военная казарма, то для мужчины эта вероятность значительно выше, чем для женщины.

Пусть опыт состоит в сдаче студентом экзамена по информатике. Очевидно, у этого опыта всего 4 исхода (по количеству возможных оценок, которые студент может получить на экзамене). Тогда эти исходы составляют полную группу событий, т.е. сумма их вероятностей равна 1. Если студент учился хорошо в течение семестра, значения вероятностей всех исходов могут быть такими: $p(5) = 0.5$; $p(4) = 0.3$; $p(3) = 0.1$; $p(2) = 0.1$, где запись $p(j)$ означает вероятность исхода, когда получена оценка j ($j = \{2, 3, 4, 5\}$). Если студент учился плохо, можно заранее оценить возможные исходы сдачи экзамена, т.е. задать вероятности исходов, например, следующим образом: $p(5) = 0.1$; $p(4) = 0.2$; $p(3) = 0.4$; $p(2) = 0.3$.

В обоих случаях выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

где n – число исходов опыта, i – номер одного из исходов.

Пусть можно получить n сообщений по результатам некоторого опыта (т.е. у опыта есть n исходов), причем известны вероятности получения каждого сообщения (исхода) - p_i . Тогда в соответствии с идеей Шеннона, количество информации I в сообщении i определяется по формуле:

$$I = -\log_2 p_i,$$

где p_i – вероятность i -го сообщения (исхода).

Пример 1. Определить количество информации, содержащейся в сообщении о результате сдачи экзамена для студента-хорошиста. Пусть $I(j)$ – количество информации в сообщении о получении оценки j . В соответствии с формулой Шеннона имеем: $I(5) = -\log_2 0.5 = 1$, $I(4) = -\log_2 0.3 = 1.74$, $I(3) = -\log_2 0.1 = 3.32$, $I(2) = -\log_2 0.1 = 3.32$.

Пример 2. Определить количество информации, содержащейся в сообщении о результате сдачи экзамена для нерадивого студента: $I(5) = -\log_2 0.1 = 3.32$, $I(4) = -\log_2 0.2 = 2.32$, $I(3) = -\log_2 0.4 = 1.32$, $I(2) = -\log_2 0.3 = 1.74$.

Таким образом, количество получаемой с сообщением информации тем больше, чем неожиданнее данное сообщение. Этот тезис использован при эффективном кодировании кодами переменной длины (т.е. имеющими разную геометрическую меру): исходные символы, имеющие большую частоту (или вероятность), имеют код меньшей длины, т.е. несут меньше информации в геометрической мере, и наоборот. Формула Шеннона позволяет определять также размер двоичного эффективного кода, требуемого для представления того или иного сообщения, имеющего определенную вероятность появления.

Пример 3. Есть 4 сообщения: a , b , c , d с вероятностями, соответственно, $p(a) = 0.5$; $p(b) = 0.25$; $p(c) = 0.125$; $p(d) = 0.125$. Определить число двоичных разрядов, требуемых для кодирования каждого из четырех сообщений. В соответствии с формулой Шеннона имеем: $I(a) = -\log_2 0.5 = 1$,

$$I(b) = -\log_2 0.25 = 2, I(c) = -\log_2 0.125 = 3, I(d) = -\log_2 0.125 = 3.$$

Пример 4. Определить размеры кодовых комбинаций для эффективного кодирования сообщений из примера 1. Для вещественных значений объемов информации (что произошло в примере 1) в целях определения требуемого числа двоичных разрядов полученные значения округляются до целых по традиционным правилам арифметики. Тогда имеем требуемое число двоичных разрядов: для сообщения об оценке 5 – 1, для сообщения об оценке 4 – 2, для сообщения об оценке 3 – 3, для сообщения об оценке 2 – 3.

Помимо информационной оценки одного сообщения, Шеннон предложил количественную информационную оценку всех сообщений, которые можно получить по результатам проведения некоторого опыта. Так, среднее количество информации I_{cp} , получаемой со всеми n сообщениями, определяется по формуле:

$$I_{cp} = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (8)$$

где p_i – вероятность i -го сообщения.

Пример 5. Определить среднее количество информации, получаемое студентом-хорошистом, по всем результатам сдачи экзамена. В соответствии с приведенной формулой имеем: $I_{cp} = - (0,5 * \log_2 0,5 + 0,3 * \log_2 0,3 + 0,1 * \log_2 0,1 + 0,1 * \log_2 0,1) = 1,67$.

Пример 6. Определить среднее количество информации, получаемое нерадивым студентом, по всем результатам сдачи экзамена. В соответствии с приведенной формулой имеем: $I_{cp} = - (0,1 * \log_2 0,1 + 0,2 * \log_2 0,2 + 0,4 * \log_2 0,4 + 0,3 * \log_2 0,3) = 1,73$.

Большее количество информации, получаемое во втором случае, объясняется большей непредсказуемостью результатов: в самом деле, у хорошиста два исхода равновероятны.

Пусть у опыта два равновероятных исхода, составляющих полную группу событий, т.е. $p_1 = p_2 = 0,5$. Тогда имеем в соответствии с формулой для расчета I_{cp} :

$$I_{cp} = - (0,5 * \log_2 0,5 + 0,5 * \log_2 0,5) = 1.$$

Эта формула есть аналитическое определение бита по Шеннону: это среднее количество информации, которое содержится в двух равновероятных исходах некоторого опыта, составляющих полную группу событий.

Единица измерения информации при статистическом подходе – бит.

На практике часто вместо вероятностей используются частоты исходов. Это возможно, если опыты проводились ранее и существует определенная статистика их исходов. Так, строго говоря, в построении эффективных кодов участвуют не частоты символов, а их вероятности.

Пусть имеется строка текста, содержащая тысячу букв. Буква «о» в тексте встречается примерно 90 раз, буква «р» ~ 40 раз, буква «ф» ~ 2 раза, буква «а» ~ 200 раз. Поделив 200 на 1000, мы получим величину 0.2, которая представляет собой среднюю частоту, с которой в рассматриваемом тексте встречается буква «а». Вероятность появления буквы «а» в тексте (p_a) можем считать приблизительно равной 0.2. Аналогично, $p_p = 0.04$, $p_f = 0.002$, $p_o = 0.09$. Далее берём двоичный логарифм от величины 0.2 и называем то, что получилось количеством информации, которую переносит одна-единственная буква «а» в рассматриваемом тексте. Точно такую же операцию сделаем для каждой буквы. Тогда количество собственной информации, переносимой одной буквой равно

$$h_i = \log_2 1/p_i = - \log_2 p_i, \quad (9)$$

где p_i - вероятность появления в сообщении i -го символа алфавита.

Информация

Можно показать, что функция $H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$ принимает максимальное значение в точке $(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n})$, и оно равно $\log_2 n$.

Это позволяет оценить величину информации о распределении вероятностей p_1, p_2, \dots, p_n с помощью разности неопределенностей: $I = H_0 - H_1$, или подробно

$$I(p_1, p_2, \dots, p_n) = H(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}) - H(p_1, p_2, \dots, p_n)$$

$$I(p_1, p_2, \dots, p_n) = \log_2 n + \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Информация по Шеннону характеризует уменьшение неопределенности, то есть снижение трудности решения задачи.

Удобнее в качестве меры количества информации пользоваться не значением h_i , а средним значением количества информации, приходящейся на один символ алфавита

$$H = S p_i h_i = - S p_i \log_2 p_i \quad (10)$$

Значение H достигает максимума при равновероятных событиях, то есть при равенстве всех p_i

$$p_i = 1/N. \quad (11)$$

В этом случае формула Шеннона превращается в формулу Хартли.

В порядке подведения итогов сравним вероятностный и алфавитный подходы. Первый подход позволяет вычислить предельное (минимально возможное) теоретическое значение количества информации, которое несёт сообщение о данном исходе события. Второй - каково количество информации на практике с учетом конкретной выбранной кодировки. Очевидно, что первая величина есть однозначная

характеристика рассматриваемого события, тогда как вторая зависит еще и от способа кодирования: в «идеальном» случае обе величины совпадают, однако на практике используемый метод кодирования может иметь ту или иную степень избыточности. С рассмотренной точки зрения вероятностный подход имеет преимущество. Но, с другой стороны, алфавитный способ заметно проще и с некоторых позиций (например, для подсчета требуемого количества памяти) полезнее.

Смысловым подходом мы в данной лекции заниматься не будем.

5. ЗАДАЧИ И ПРИМЕРЫ

Для решения задач по информатике требуется знание формул Шеннона и Хартли.

Формула К.Шеннона:

Если I - количество информации, N - количество возможных событий, p_i - вероятности отдельных событий, то количество информации для событий с различными вероятностями можно определить по формуле:

$$I = - \sum p_i \log_2 p_i, \quad (12)$$

где i принимает значения от 1 до N .

Формула Хартли - частный случай формулы Шеннона:

$$I = - \sum 1/N \log_2 (1/N) = I = \log_2 N \text{ или } N = 2^I$$

где N - количество равновероятных событий; I - количество бит в сообщении, такое, что любое из N событий произошло.

Иногда формулу Хартли записывают так: $I = \log_2 N = \log_2 (1/p) = -\log_2 p$, т. к. каждое из N событий имеет равновероятный исход $p = 1/N$, то $N = 1/p$. $p = K/N$, p - вероятность события; N - общее число возможных исходов; K - число возможных исходов интересующего нас события; I - количество информации

$$N/K = 2^I$$

При равновероятных событиях получаемое количество информации максимально.

При анализе текстов:

$$N = 2^i; i = \log_2 N; I = K \cdot I, \quad (13)$$

где N - полное количество символов в алфавите; i - количество информации, которое несёт каждый символ; K - размер текста; I - размер информации, содержащейся в тексте.

Количество информации, которое содержит сообщение, закодированное с помощью знаков системы, равно количеству информации, которое несёт один знак, умноженному на число знаков в сообщении.

1. После экзамена по информатике, объявляются оценки ("2", "3", "4", или "5"). Какое количество информации будет нести сообщение об оценке учащегося A , который выучил лишь половину билетов, и сообщение об оценке учащегося B , который выучил все билеты? Для учащегося A все четыре оценки равновероятны, тогда количество информации вычисляется по формуле: $I = \log_2 4 = 2$ бита. Для учащегося B наиболее вероятной оценкой является "5" ($p = 1/2$), вероятность оценки "4" в два раза меньше ($p_2 = 1/4$), а вероятности оценок "2" и "3" еще в два раза меньше ($p_3 = p_4 = 1/8$). Так как события не равновероятны, воспользуемся для подсчета количества информации формулой Шеннона:

$$I = -(1/2 \log_2 1/2 + 1/4 \log_2 1/4 + 1/8 \log_2 1/8 + 1/8 \log_2 1/8) = 1.75 \text{ бит}$$

Сообщение об оценке учащегося A равно 2 бита, а учащегося B – 1,75 бит.

2. Сколько бит информации получит человек при бросании монеты? При бросании монеты сообщение о результате жребия (например, выпал орел) несёт 1 бит информации, поскольку количество возможных вариантов результата равно 2 («орел» или «решка»). Оба эти варианта равновероятны. Ответ может быть получен из решения уравнения: $2^i = 2$, откуда, очевидно, следует: $i = 1$ бит. Вывод: в любом случае сообщение об одном событии из двух равновероятных несёт 1 бит информации.

3. В барабане для розыгрыша лотереи находится 32 шара. Сколько информации содержит сообщение о первом выпавшем номере (например, выпал номер 15)? Поскольку вытягивание любого из 32 шаров равновероятно, то количество информации об одном выпавшем номере находится из уравнения: $2^i = 32$. Но $32 = 2^5$. Следовательно, $i = 5$ бит. Очевидно, ответ не зависит от того, какой именно выпал номер. 5 бит содержит сообщение о первом выпавшем номере.

4. Оперативная память компьютера содержит 163840 машинных слов (наибольшую последовательность бит, которую процессор может обрабатывать как единое целое), что составляет 0,625 Мбайт. Сколько бит содержит каждое машинное слово? Переведем 0,625 Мбайт в биты: 0,625 (Мбайт) = $0,625 \cdot 2^{10}$ (Кбайт) = $0,625 \cdot 2^{10} \cdot 2^{10}$ (байт) = $0,625 \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^3$ (бит) = $0,625 \cdot 2^{23}$ (бит) = $0,625 \cdot 8388608$ (бит) = 5242880 (бит). Разделим

объем оперативной памяти на количество машинных слов: $5242880 \text{ (бит)}/163\,840 \text{ (машинных слов)} = 32 \text{ (бит)}$.

5. Получить внутреннее представление целого числа 1607_{10} в 2-х байтовой ячейке. Воспользуемся правилом представления беззнакового целого числа. Переведем число в двоичную систему: $1607_{10}=11001000111_2$. Внутреннее представление этого числа в 2-х байтовой (16 бит) ячейке будет следующим: 0000 0110 0100 0111.

6. Получить внутреннее представление целого отрицательного числа -1607_{10} в 2-х байтовой ячейке. Воспользуемся правилом представления знакового целого числа. Используя результат предыдущего примера, запишем внутреннее представление положительного числа 1607: 0000 0110 0100 0111. Инвертированием получим обратный код: 1111 1001 1011 1000. Добавим единицу: 1111 1001 1011 1001 - это и есть внутреннее двоичное представление числа -1607 .

7. Представить число 0,005089 в нормализованной форме с плавающей точкой в десятичной системе счисления. Чтобы мантисса была меньше единицы и её первая цифра была отлична от нуля, возьмем её равной 0,5089. Тогда порядок будет равен -2. Наше число 0,005089 в нормализованном виде будет равно $0,5089 \times 10^{-2}$.

8. Сколько различных чисел можно закодировать с помощью 8 бит? $I=8 \text{ бит}$, $K=2^I=2^8=256$ различных чисел.

9. Какое количество информации необходимо, чтобы отгадать одно число из набора чисел от единицы до ста. По формуле Хартли можно вычислить, какое количество информации для этого требуется: $I=\log_2 100=6,644$. Таким образом, сообщение о верно угаданном числе содержит количество информации, приблизительно равное 6,644 единицы информации.

10. Какое минимальное количество двоичных разрядов потребуется для того, чтобы закодировать алфавит языка племени Мумба-Юмба, состоящий из 16 символов? $2^x = 16$; $2^x = 24$; $x = 4$. Ответ: 4 разряда

11. 256 символов на клавиатуре кодируются последовательностью из 0 и 1. Сколько же потребуется таких 0 и 1 (то есть разрядов)? $2^x = 256$; $2^x = 28$; $x = 8$. Ответ: 8 бит или 1 байт

12. Какое минимальное количество двоичных разрядов потребуется для того, чтобы закодировать цифры десятичной системы счисления? $2^x = 10$; $2^x = 23 = 8$ (мало); $2^x = 24 = 16$; $x = 4$. Ответ: 4 разряда.

13. При угадывании целого числа в некотором диапазоне было получено 8 бит информации. Сколько чисел содержал этот диапазон? $i=8 \text{ бит}$; $K=1$ (угадано одно число); $N/K=2^i$; $N/1=2^8$; $N=256$. Ответ: 256

14. Текст состоит из 20-ти символов (каждый символ кодируется 8 битами). Сколько места в памяти он занимает? Раз каждый символ занимает 8 бит, то 20 символов будут занимать $20 \times 8 = 160 \text{ бит} = 20 \text{ байт}$. Ответ: текст содержит 20 байт

15. Книга содержит 100 страниц; на каждой странице - 35 строк, в каждой строке - 50 символов. Рассчитать объем информации, содержащийся в книге. Т. к. один символ - 1 байт, то страница содержит $35 \times 50 = 1\,750$ байт информации. Объем всей информации в книге (в разных единицах): $1\,750 \times 100 = 175\,000 \text{ байт}$. $175\,000/1024 = 170,8984 \text{ Кбайт}$. $170,8984/1024 = 0,166893 \text{ Мбайт}$.

16. Чему равен в байтах объем текстовой информации в книге из 258 страниц, если на одной странице размещается в среднем 45 строк по 60 символов (включая пробелы)? Один символ в двоичной форме содержит 1 байт. Строка будет содержать 61 байт, учитывая и служебный символ окончания строки. Тогда $61 \text{ байт} \times 45 \text{ строк} = 2\,745 \text{ байт}$. Так как в книге 258 страниц текста и на каждой странице в среднем по 2\,745 байт информации, то объем алфавитно-цифровой информации в книге $2\,745 \text{ байт} \times 258 \text{ страниц} = 708\,210 \text{ байт} = 692 \text{ Кбайт}$. Ответ: текст книги имеет объем 692 Кбайт.

17. Сосчитайте энтропию двумерного кристалла, показанного на рис. 2.

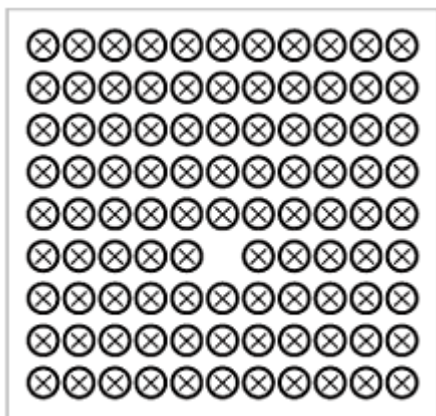


Рис. 2. К задаче 14: Двухмерная модель кристалла с одной вакансией

В этом кристалле $9 \times 11 - 1 = 98$ атомов. Вакансия может быть в любом из 99 узлов решетки, следовательно, $W=99$. Энтропия $S=k \ln W = 1,38 \times 10^{-23} \cdot \ln 99 = 1,38 \times 10^{-23} \times 4,60 = 6,35 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

15. Увеличивается или уменьшается энтропия системы, если в ней происходит испарение воды? Если система открытая, то водяной пар покидает её и энтропия оставшейся воды уменьшается, т.к. уменьшается её количество. Если система закрытая и количество вещества в ней не меняется, то ее энтропия

18. Какое количество вопросов достаточно задать вашему собеседнику, чтобы наверняка определить месяц, в котором он родился? Будем рассматривать 12 месяцев как 12 возможных событий. Если спрашивать о конкретном месяце рождения, то, возможно, придется задать 11

вопросов (если на 11 первых вопросов был получен отрицательный ответ, то 12-й задавать не обязательно, так как он и будет правильным). Однако, такой способ слишком длинный. Удобнее задавать «двоичные» вопросы, т.е. вопросы, на которые можно ответить только «Да» или «Нет». Например, «Вы родились во второй половине года?». Каждый такой вопрос разбивает множество вариантов на два подмножества: одно соответствует ответу «Да», а другое - ответу «Нет». Правильная стратегия состоит в том, что вопросы нужно задавать так, чтобы количество возможных вариантов каждый раз уменьшалось вдвое. Тогда количество возможных событий в каждом из полученных подмножеств будет одинаково и их отгадывание равновероятно. В этом случае на каждом шаге ответ («Да» или «Нет») будет нести информацию равную 1 биту. Т.к. события равновероятны и количество возможных событий $N=12$, то используя формулу Хартли находим количество информации: $I = \log_2 12 = 3,6$ бит. Количество полученных бит информации соответствует количеству заданных вопросов, однако количество вопросов не может быть нецелым числом. Округляем до большего целого числа и получаем 4. Ответ: при правильной стратегии необходимо задать не более 4 вопросов.

19. Какое количество информации будет содержать зрительное сообщение о цвете вынутого шарика, если в непрозрачном мешочке находится 50 белых, 25 красных, 25 синих шариков

1) всего шаров $50+25+25=100$

2) вероятности шаров $50/100=1/2$, $25/100=1/4$, $25/100=1/4$

3) $I = -(1/2 \log_2 1/2 + 1/4 \log_2 1/4 + 1/4 \log_2 1/4) = -(1/2(0-1) + 1/4(0-2) + 1/4(0-2)) = 1,5$ бит

20. В корзине лежит 16 шаров разного цвета. Сколько информации несет сообщение, что достали белый шар? т.к. $N = 16$ шаров, то $I = \log_2 N = \log_2 16 = 4$ бит.

21. Шарик находится в одной из трех урн: А, В или С. Определить сколько бит информации содержит сообщение о том, что он находится в урне В. Такое сообщение содержит $I = \log_2 3 = 1,585$ бита информации.

22. В коробке 5 синих и 15 красных шариков. Какое количество информации несет сообщение, что из коробки достали синий шарик? $N=15+5=20$ всего шариков; $K=5$ – синих (его достали); $N/K=20/5=4$; $2^i=4$; $i=2$ бита. Ответ: 2 бита.

23. В коробке находятся кубики трех цветов: красного, желтого и зеленого. Причем желтых в два раза больше красных, а зеленых на 6 больше чем желтых. Сообщение о том, что из коробки случайно вытащили желтый кубик, содержало 2 бита информации. Сколько было зеленых кубиков? Ж – желтые, К – красные, З – зеленые; $Ж=2К$; $З=Ж+6=2К+6$; $N=К+Ж+З=К+2К+2К+6= 5К+6$; $К=Ж=2К$; $i=2$ бита; $N/K=2^i$; $(5К+6)/2К=2^2$; $5К+6=4*2К$; $К=2$; $З=2*2+6=10$. Ответ: было 10 зеленых кубиков

24. В коробке имеется 50 шаров. Из них 40 белых и 10 черных. Обозначим $p_ч$ - вероятность попадания при вытаскивании черного шара, $p_б$ - вероятность попадания белого шара. Тогда: $p_ч=10/50=0,2$; $p_б=40/50=0,8$, т.е. вероятность попадания белого шара в 4 раза больше, чем черного. Количественная зависимость между вероятностью события p и количеством информации в сообщении о нем x выражается формулой: $x=\log_2(1/p)$. Количество информации в сообщении о попадании белого шара и черного шара получится: $x_б=\log_2(1/0,8)=\log_2(1,25)=0,321928$; $x_ч=\log_2(1/0,2)=\log_2 5=2,321928$

25. В колоде содержится 32 карты. Из колоды случайным образом вытянули туза, потом его положили обратно и перетасовали колоду. После этого из колоды опять вытянули этого же туза. Какое количество бит информации в сумме содержат эти два сообщения? $N=32$; $K_1=4$ (4 туза в колоде); $K_2=1$ (в колоде один туз определенной масти, который был вытянут в первый раз); $N/K_1=32/4=8$; $2^{i_1}=8$; $i_1=3$ бита; $N/K_2=32/1=32$; $2^{i_2}=32$; $i_2=5$ бита; $i_1+i_2=3+5=8$ бит. Ответ: 8 бит

26. В колоде содержится 32 карты. Из нее наугад взяли 2 карты. Какое количество информации несет сообщение о том, что выбраны туз и король одной масти? $N_1=32$; $K_1=4$ (4 туза в колоде); $N_1/K_1=32/4=8$; $i_1=\log_2 8=3$ бита. После этого в колоде остается 31 карта. $N_2=31$; $K_2=1$ (только один король той же масти, что и туз, вытянутый в первый раз); $N_2/K_2=31/1=31$; $i_1=\log_2 31$ бит; $i_1+i_2=3+\log_2 31$ бит. Ответ: $3+\log_2 31$ бит

27. Пусть имеется колода из 32 карт (в колоде отсутствуют шестерки). Задумана одна карта (например, туз пик). Сколько двоичных вопросов нужно задать, чтобы отгадать задуманную карту. Двоичным называют вопрос, который предполагает только два взаимоисключающих ответа «да» или «нет». Сколько бит информации несет сообщение о задуманной карте? Давайте рассуждать. Сначала, все карты нам нужно разбить на два подмножества так, чтобы вероятности принадлежности задуманной карты к ним, были равными. Разобьем карты по цветам масти: красная и черная. Первый вопрос: Задумана карта черной масти? Сколько бит информации мы получили? 1 бит информации. Почему? Потому что уменьшили неопределенность ровно вдвое.

Далее, описанную процедуру следует повторить. Второй вопрос: Масть карты пики? (1 бит информации). Третий вопрос: Задумана карта-картинка? (1 бит информации). Четвёртый вопрос: Задумана карта старше дамы? (1 бит информации). Пятый вопрос: Это король? (1 бит информации). Ответ: задуманная карта несет 5 бит информации, поэтому нужно задать пять двоичных вопросов ($\log_2 32 = 5$).

28. Из колоды выбрали 16 карт (все «картинки» и тузы) и положили на стол рисунком вниз. Верхнюю карту перевернули. Сколько информации будет заключено в сообщении о том, какая именно карта оказалась сверху? Все карты одинаковы, поэтому любая из них могла быть перевернута с одинаковой вероятностью. В таких условиях применима формула Хартли. Событие, заключающееся в открытии верхней карты, для нашего случая могло иметь 16 возможных исходов. Следовательно, информация о реализации одного из них равняется $I = \log_2 16 = 4$ бита

29. Пусть теперь верхняя перевернутая карта оказалась чёрной дамой. Отличие данной задачи от предыдущей заключается в том, что в результате сообщения об исходе случайного события не наступает полной определенности: выбранная карта может иметь одну из двух чёрных мастей. В этом случае, прежде чем воспользоваться формулой Хартли, необходимо вспомнить, что информация есть уменьшение неопределенности знаний: $I = H_1 - H_2$. До переворота карты неопределенность (энтропия) составляла $H_1 = \log_2 N_1$ после него – $H_2 = \log_2 N_2$ (причем для нашей задачи $N_1 = 16$, а $N_2 = 2$). В итоге информация вычисляется следующим образом:

$$I = H_1 - H_2 = \log_2 N_1 - \log_2 N_2 = \log_2 N_1/N_2 = \log_2 16/2 = 3 \text{ бита}$$

Заметим, что в случае, когда нам называют карту точно (пример 1), неопределенность результата исчезает, $N_2 = 1$, и мы получаем "традиционную" формулу Хартли. И еще одно полезное наблюдение. Полная информация о результате рассматриваемого опыта составляет 4 бита. В данном же случае, мы получили 3 бита информации, а оставшийся четвёртый описывает сохранившуюся неопределенность выбора между двумя дамами черной масти.

30. Определить количество информации, получаемое при реализации одного из событий, если бросают а) несимметричную четырехгранную пирамидку; б) симметричную и однородную четырехгранную пирамидку.

а) Будем бросать несимметричную четырехгранную пирамидку. Вероятность отдельных событий будет такова: $p_1 = 1/2$, $p_2 = 1/4$, $p_3 = 1/8$, $p_4 = 1/8$, тогда количество информации, получаемой после реализации одного из этих событий, рассчитывается по формуле: $I = -(1/2 \log_2 1/2 + 1/4 \log_2 1/4 + 1/8 \log_2 1/8 + 1/8 \log_2 1/8) = 1/2 + 2/4 + 3/8 + 3/8 = 14/8 = 1,75$ (бит).

б) Теперь рассчитаем количество информации, которое получится при бросании симметричной и однородной четырехгранной пирамидки: $I = \log_2 4 = 2$ (бит). Заметим, что для симметричной пирамидки количество информации оказалось больше, чем для несимметричной пирамидки. Максимальное значение количества информации достигается для равновероятных событий.

31. Молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты) состоят из четырех различных составляющих (нуклеотидов), которые образуют генетический алфавит. Информационная емкость знака этого алфавита составляет: $4 = 2^2$, т.е. $I = 2$ бит.

32. Какую информацию несёт каждая буква русского алфавита (если считать, что е=ё)? Ответ: 5 бит ($32 = 2^5$).

33. Какова мощность алфавита, с помощью которого записано сообщение, содержащее 2048 символов, если его объём составляет 1,25 Кбайт. Переведём информационный объём сообщения в биты: $I = 1,25 \text{ Кбайт} * 1024 * 8 = 10240$ бит. Определяем количество бит, приходящиеся на один символ: $10240 \text{ бит} : 2048 = 5$ бит. Определяем количество символов в алфавите: $N = 2^I = 2^5 = 32$.

Ответ. 32 символа в алфавите.

34. Пусть имеется два объекта. С каждого из них в определенные моменты времени диспетчеру передаётся одно из двух сообщений: включён или выключён объект. Диспетчеру известны типы сообщений, но неизвестно, когда и какое сообщение поступит. Пусть также, объект А работает почти без перерыва, т.е. вероятность того, что он включен, очень велика (например, $p_{A_{\text{вкл}}} = 0,99$ и $p_{A_{\text{выкл}}} = 0,01$, а объект Б работает иначе и для него $p_{B_{\text{вкл}}} = p_{B_{\text{выкл}}} = 0,5$). Тогда, если диспетчер получает сообщение том, что А включен, он получает очень мало информации. С объектом Б дела обстоят иначе. Подсчитаем для этого примера среднее количество информации для указанных объектов, которое получает диспетчер: Объект А: $I = -[0,99 * \log_2(0,99) + 0,01 * \log_2(0,01)] = 0,0808$. Объект Б: $I = -[0,50 * \log_2(0,50) + 0,50 * \log_2(0,50)] = 1$. Итак, каждое сообщение объекта Б несет 1 бит информации.

35. Студенты группы изучают один из трех языков: английский, немецкий или французский. Причем 12 студентов не учат английский. Сообщение, что случайно выбранный студент Петров изучает английский, несет $\log_2 3$ бит информации, а что Иванов изучает французский – 1 бит. Сколько студентов изучают

немецкий язык? Y – учат французский; X – учат английский, 12 не учат английский. Всего $12+X$ студентов $N=12+X$; $K_1=X$; $i_1=\log_2 3$ бит; $(12+X)/X=2^{\log_2 3}$; $12+X=3X$; $X=6$; $N=12+6=18$; $i_2=1$ бит; $K_2=Y$; $18/Y=2^1$; $Y=9$; $18-X-Y=18-6-9=3$ студента изучают немецкий.

Ответ: 3

36. Ученики класса, состоящего из 21 человека, изучают немецкий или французский языки. Сообщение о том, что ученик A изучает немецкий язык, несет $\log_2 3$ бит информации. Сколько человек изучают французский язык? $N=21$; $\log_2 3=(21/K)$; $21/K=2^{\log_2 3}$; $21/K=3$; $K=7$; $21-7=14$ учеников изучают французский язык. Ответ: 14

37. В составе 16 вагонов, среди которых K – купейные, Π – плацкартные и CB – спальные. Сообщение о том, что ваш друг приезжает в CB несет 3 бита информации. Определите, сколько в поезде вагонов CB . $N=16$; $K=CB$; $i=3$ бита; $i=\log_2(N/K)$; $3=\log_2(16/CB)$; $16/CB=8$; $CB=2$. Ответ: 2

38. Для записи письма был использован алфавит мощностью в 16 символов. Письмо состояло из 25 строк. В каждой строке вместе с пробелами было 64 символа. Сколько байт информации содержало письмо? $N=16$, $i=\log_2 16=4$ бит, $K=25*64=1600$, $I=K*i=1600*4$ бит=6400 бит=800 байт. Ответ: 800 байт

39. Письмо состояло из 30 строк. В каждой строке вместе с пробелами по 48 символов. Письмо содержало 900 байт информации. Какова мощность алфавита (количество символов), которым было написано письмо? $K=30*48=1440$; $I=900$ байт=7200 бит; $i=I/K=5$ бит; $N=2^5=32$ символа

40. Для шифрования информации был использован код, состоящий из 64 различных знаков. Какое количество байт содержит шифровка, состоящая из 110 групп по 12 знаков в каждой группе? $N=64$; $K=110*12=1320$; $i=\log_2 64=6$ бит; $I=6*1320$ бит=7920 бит=990 байт. Ответ: 990

41. Шифровка состояла из 36 групп символов по 6 символов в группе и содержала 81 байт информации. С помощью скольких различных знаков была закодирована шифровка? $K=36*6=216$; $I=81$ байт = 648 бит; $i=648/216=3$ бита; $N=2^3=8$ символов. Ответ: 8

42. В доме 160 квартир. Сколько бит должно содержать двоичное слово, чтобы закодировать в это доме двоичным кодом все квартиры? Пусть слово содержит $i=7$ бит, тогда всего можно закодировать $2^7=128$ квартир. Нельзя закодировать все 160. Значит, пусть слово содержит $i=8$ бит, тогда всего можно закодировать $2^8=256$ квартир. Этого достаточно чтобы закодировать 160 квартир. Ответ: 8

43. Даны два текста, содержащих одинаковое количество символов. Первый текст состоит из алфавита мощностью 16 символов, а второй текст – из 256 символов. Во сколько раз информации во втором тексте больше, чем в первом? $K_1=K_2$; $N_1=16$; $N_2=256$; $i_1=\log_2 16=4$; $i_2=\log_2 256=8$; $I_1=K_1*i_1$; $I_2=K_2*i_2$; $I_2/I_1=(K_2*i_2)/(K_1*i_1)=(K_2*8)/(K_2*4)=8/4=2$. Ответ: в 2 раза

44. Телеграфистка в течение пяти минут передавала информационное сообщение со скоростью 20 байт в секунду. Сколько символов содержало данное сообщение, если она использовала алфавит из 32 символов? $5\text{ минут}=5*60\text{ с}=300\text{ с}$; $20\text{ байт/сек}=160\text{ бит/с}$; $I=160\text{ бит/с} * 300\text{ с} = 48000\text{ бит}$; $N=32$; $i=\log_2 32=5$ бит; $K=48000/5=9600$ символов. Ответ: 9600

45. Текст занимает 3 страницы по 25 строк. В каждой строке записано по 60 символов. Сколько символов в используемом алфавите, если все сообщение содержит 1125 байт? $K=3*25*60=4500$; $I=1125$ байт = 9000 бит; $i=I/K$; $i=9000\text{ бит}/4500=2$ бит; $N=2^i$; $N=2^2=4$ символа в алфавите. Ответ: 4

46. Пусть имеется два объекта. С каждого из них в определенные моменты времени диспетчеру передается одно из двух сообщений: включен или выключен объект. Диспетчеру известны типы сообщений, но неизвестно, когда и какое сообщение поступит. Пусть также, объект A работает почти без перерыва, т.е. вероятность того, что он включен, очень велика (например, $p_{A_{\text{вкл}}} = 0,99$ и $p_{A_{\text{выкл}}} = 0,01$, а объект B работает иначе и для него $p_{B_{\text{вкл}}} = p_{B_{\text{выкл}}} = 0,5$). Тогда, если диспетчер получает сообщение том, что A включен, он получает очень мало информации. С объектом B дела обстоят иначе. Подсчитаем по формуле Шеннона для этого примера среднее количество информации для указанных объектов, которое получает диспетчер: Объект A : $I = - [0,99*\log_2(0,99)+0,01*\log_2(0,01)] = 0,0808$. Объект B : $I = -[0,50*\log_2(0,50)+0,50*\log_2(0,50)] = 1$.

Ответ. Каждое сообщение объекта B несет 1 бит информации.

47. Пусть объект может находиться в одном из восьми равновероятных состояний. Тогда по формуле Хартли количество информации, поступающей в сообщении о том, в каком именно он находится, будет равно $I = \log_2(8) = 3$ [бита].

48. Книга, набранная с помощью компьютера, содержит 150 страниц; на каждой странице - 40 строк, b в каждой строке - 60 символов. Каков объем информации в книге? Мощность компьютерного алфавита равна 256. Один символ несет 1 байт информации. Значит, страница содержит $40 \times 60 = 2400$ байт информации. Объем всей информации в книге (в разных единицах):

$2400 \times 150 = 360\,000$ байт. $360\,000/1024 = 351,5625$ Кбайт. $351,5625/1024 = 0,34332275$ Мбайт.

49. Подсчитайте объем информации, содержащейся в романе А. Дюма «Три мушкетёра», и определите, сколько близких по объему произведений можно разместить на одном лазерном диске? (590 стр., 48 строк на одной странице, 53 символа в строке). $90 \times 48 \times 53 = 1500960$ (символов). 1500960 байт» 1466 Кбайт» 1,4 Мбайт. На одном лазерном диске ёмкостью 600 Мбайт можно разместить около 428 произведений, близких по объёму к роману А. Дюма «Три мушкетера».

50. На диске объемом 100 Мбайт подготовлена к выдаче на экран дисплея информация: 24 строчки по 80 символов, эта информация заполняет экран целиком. Какую часть диска она занимает? Код одного символа занимает 1 байт. $24 \times 80 = 1920$ (байт). Объем диска $100 \times 1024 \times 1024$ байт = 104857600 байт. $1920/104857600 = 0,000018$ (часть диска).

51. В барабане для розыгрыша лотереи находится 32 шара. Сколько информации содержит сообщение о первом выпавшем номере (например, выпал номер 15)? Поскольку вытягивание любого из 32 шаров равновероятно, то количество информации об одном выпавшем номере находится из уравнения: $2^i = 32$. Но $32 = 2^5$. Следовательно, $i = 5$ бит. Очевидно, ответ не зависит от того, какой именно выпал номер.

52. При игре в кости используется кубик с шестью гранями. Сколько бит информации получает игрок при каждом бросании кубика? Выпадение каждой грани кубика равновероятно. Поэтому количество информации от одного результата бросания находится из уравнения: $2^i = 6$. Решение этого уравнения: $i = \log_2 6$. $i = 2,585$ бит. Этот ответ точен, но можно воспользоваться таблицей логарифмов и с точностью до 3-х знаков после запятой вычислить, что $i = 2,585$ бит. Ответ. *Количество информации от одного бросания кубика равно $\log_2 6$.*

53. Определить информационный объём полноэкранного графического изображения на экране, имеющем разрешающую способность 640×320 и 16 возможных цветов. $x = \log_2 16 = 4$ (количество бит, необходимых для кодирования цвета) $640 \times 320 \times 4 = 819200$ бит = 102400 байт = 100 Кбайт.

54. Для хранения области экрана монитора размером 256×128 точек выделено 32 Кбайта оперативной памяти. Сколько максимально цветов допустимо использовать для раскраски точек?

$256 \times 128 = 32768$ бит; 32 Кбайт = 32×1024 байт = 32768 байт = 32768×8 бит; Для цвета остается 8 бит; $2^8 = 256$ (количество цветов). Ответ: 256 цветов

55. Черно-белое изображение имеет 8 градаций яркости. Размер изображения 10×15 см. Разрешение 300 точек на дюйм (1 дюйм = 2,5 см). Сколько Кбайт памяти требуется для хранения изображения в несжатом виде? $N=8$; $i=\log_2 8=3$ бит (на каждую точку). Размер изображения = 10×15 см = 4×6 дюйм = 24 дюйм² На дюйм – 300 точек, на дюйм²=300² точек=90000 точек. $K=90000 \text{ точек} \times 24 \text{ дюйм}^2 = 2160000$ точек. $I=K \times i = 2160000 \times 3 \text{ бит} = 6480000$ бит = 810000 байт = 810 Кбайт. Ответ: 810

56. Цветное изображение имеет 256 цветов. Размер изображения $7,5 \times 12,5$ см. Для хранения изображения требуется 432×10^5 бит памяти. Каково разрешение изображения в точках на дюйм? (1 дюйм=2,5 см). $N=256$; $i=\log_2 256=8$ бит; $I=43200000$ бит; $7,5 \text{ см} \times 12,5 \text{ см} = 3 \text{ дюйм} \times 5 \text{ дюйм} = 15 \text{ дюйм}^2$; X - точек на дюйм; X^2 - точек на дюйм²; $K=X^2 \times 15$; $I=15X^2 \times 8$ бит; $43200000 \text{ бит} = 15X^2 \times 8$ бит; $X^2=360000$; $X=600$ точек на дюйм. Ответ: 600

57. Графическое 16 цветное изображение имеет размер 256 пикселей на 200 пикселей. Какое место в памяти оно занимает? Для представления 16 цветного изображения требуется $\log_2 16=4$ бита, следовательно, цвет пикселя кодируется 4 битами. Размер изображения 256 на 200, значит количество информации в картинке $256 \times 200 \times 4 = 204\,800$ байт=200 Кбайт. Ответ: изображение занимает в памяти 200 килобайт

58. Какое максимально возможное количество цветов в изображении, если цвет кодируется 24 битами? Для того чтобы вычислить максимальное количество цветов, достаточно возвести два в степень 24. $2^{24}=16777216$. Ответ: 24 битами можно представить 16777216 цветов.

59. Глаз человека способен различать порядка 4 тысяч цветов, сколько бит достаточно для представления такого количества? Для ответа на вопрос задачи нужно решить уравнение $\log_2 4000 = x$; или эквивалентное ему $2^x = 4000$. Поскольку $2^{12} = 4096$, то достаточно 12 бит по 4 бита на составляющие красного, зеленого и синего цвета. Ответ: для представления 4 тысяч цветов достаточно 12 бит.

Возникнув в недрах термодинамики при решении некоторой частной задачи, понятие энтропии стало расширяться с удивительной энергией, быстро перешагнуло границы физики и проникло в самые сокровенные области человеческой мысли. Наряду с энтропией Клаузиуса появилась статистическая, информационная, математическая, лингвистическая, интеллектуальная и другие энтропии. Энтропия стала базисным понятием теории информации и стала выступать как мера неопределенности некоторой ситуации. В каком-то смысле она - мера рассеяния, и в этом смысле она подобна дисперсии. Но если дисперсия является адекватной мерой рассеяния лишь для специальных распределений вероятностей случайных величин (например, нормального гауссова распределения), то энтропия не зависит от типа распределения. Популярность энтропии связана с её важными свойствами: универсальностью и аддитивностью. Со своей стороны, информация оказалась характеристикой степени зависимости некоторых переменных. Её можно сравнить с корреляцией, но если корреляция характеризует лишь линейную связь переменных, информация характеризует любую связь. Тип связи может быть каким угодно и неизвестным исследователю.

Информацию можно рассматривать как отрицательную энтропию. Тогда энтропия и информация – смотрятся, как понятия одного уровня. Однако, это не так: в отличие от энтропии информация – общенаучное понятие, приближающееся по своему значению к философской категории.

В данной лекции мы попытаемся разобраться в трудной проблеме: если между разными видами информации что-то общее, или это – совершенно разные сущности, по недоразумению названные одним именем. Имеет ли техническая информация какое-либо отношение к термодинамической информации, и, если имеет, то какое? Если связь между термодинамической энтропией Клаузиуса-Кельвина и статистической энтропией Больцмана-Планка? Вообще, может ли энтропия быть мерой хаоса?

Заранее очевидно, что однозначно ответить на эти вопросы до сих пор никто не может. Но лишний раз поговорить полезно...

1. ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ ЭНТРОПИИ

Можно выделить следующие этапы формирования понятия энтропии:

1865 - Рудольф Юлиус Клаузиус.

В рамках теории тепловых машин введено представление об энтропии, как о термодинамической величине. Энтропия S задана динамическим уравнением через скорость изменения тепловой энергии Q и абсолютную температуру T .

$$d_t S = d_t Q / T$$

1872 - Людвиг Больцман.

Энтропия вводится как мера множества W микросостояний термодинамической системы с помощью специальной константы $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/гр.К.

$$H = k \log |W|$$

1902 - Джозойя Виллард Гиббс.

Энтропия вводится через распределение плотности $\gamma(x)$ вероятности состояний по фазовому пространству W статфизической системы.

$$H = - \int_W \gamma(x) \log \gamma(x) dx$$

1948 - Клод Шеннон.

Вводится мера энтропии дискретного распределения вероятности P_i на множестве альтернативных состояний и информация, как уменьшение энтропии при получении сообщения.

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log P_i ; \\ I = H_1 - H_2 ;$$

1953 - Александр Яковлевич Хинчин.

Постоянная Больцмана вводится как математическая нормировка основания логарифмов, независимо от термодинамической интерпретации.

$$S = -k \sum_{i=1}^N P_i \ln P_i$$

1955 - Артур Роберт Мак.

Комбинаторная интерпретация энтропии, как меры структурированного множества альтернатив:

$$n = n_1 + \dots + n_m$$

$$S = -k \sum_{i=1}^m (n_i/n) \ln(n_i/n)$$

1965 - Андрей Николаевич Колмогоров.

Обобщение понятия энтропии на эргодические случайные процессы $u(t)$ через предельное распределение вероятности, имеющие плотность $f(x)$.

$$S = - \int_W f(x) \log f(x) dx ; f(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} \text{Prob}\{u(t) = x\}.$$

Введение энтропии, как инварианта динамической системы с оператором J , имеющим инвариантную вероятностную меру на множестве состояний W , полученного предельным переходом по средним комбинаторным энтропиям следа $D(t)$ начального измеримого бинарного разбиения D на W (скорость генерации информации динамической системой)

$$H = \sup_{D=\{A; W \setminus A\}} \lim_{t \rightarrow \infty} (-1/t) S_{\nu \circ D(t)} P(\nu) \ln P(\nu); D(t) = P_{i=1}^t J^i * D;$$

Произведение берется в алгебре разбиений на W , как все возможные пересечения элементов сомножителей. Введение меры сложности символьной последовательности $y=(y_1, y_2, \dots)$, как минимальной удельной (на символ) длины программы P , ее порождающей на универсальной машине Тьюринга.

$$C(y) = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \min \text{long } P(y_1, \dots, y_n).$$

1970 - Анри Реньи.

Введение энтропии как b -момента меры разбиения.

$$S = (1-b)^{-1} \ln(S_{i=1}^N (n_i) b);$$

1999 - Александр Моисеевич Хазен.

Введение понятия энтропии-информации как обобщенного действия в механике с функцией энергии L на фазовом пространстве W . Постоянная Больцмана зависит от уровня процесса. Это - обобщение подхода Р. Ю. Клаузиуса.

$$S = k m_{[0;t]} L(W(t)) dt.$$

2000 - Александр Владимирович Коганов.

Введение меры сложности C математической модели A , как набора чисел, характеризующих ресурсы R_i , потребляемые при реализации математической модели на технических средствах. В случае, если ресурсом является память вычислительных средств, получаем варианты формул энтропии А. Р. Мака и сложности А. Н. Колмогорова.

$$C = (R_1, \dots, R_M); R = R(A).$$

Энтропия вводится, как сложность множества состояний модели.

$$S = (R_1, \dots, R_M); R = R(\text{state } A).$$

Информация измеряется сложностью перестройки модели, как следствия полученного сообщения.

$$I = (R_1, \dots, R_M); R = R(A|A').$$

2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЭНТРОПИЯ

Существуют три определения физической энтропии

Термодинамическое

Понятие энтропии впервые было введено Клаузиусом как мера необратимого рассеяния энергии. Для обратимых (квазиравновесных) процессов оно было определено так:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}, \quad (1)$$

где ΔS — изменение энтропии, ΔQ — изменение теплоты, T — абсолютная термодинамическая температура.

В дифференциальной форме энтропия представляется как:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (2)$$

и, в отличие от первого, оно применимо не только к изотермическим процессам.

Интегральная форма энтропии для обратимых (квазиравновесных) процессов имеет вид:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}, \quad (3)$$

где S_A и S_B — энтропия начального (A) и конечного (B) состояния соответственно.

Несмотря на то, что энтропия выражается через процессы, она является функцией состояния, то есть каждому состоянию соответствует определённое её значение. Однако, как видно из формул, она определена с точностью до константы, и выбор состояния с нулевым значением условен. Основываясь на третьем начале термодинамики, за нулевое значение энтропии принимают таковое у системы с температурой, равной абсолютному нулю.

Для необратимых процессов выполняется неравенство (следующее из неравенства Клаузиуса):

$$S_B - S_A \geq \int_A^B \frac{\delta Q}{T}, \quad (4)$$

из которого следует закон неубывания энтропии.

Статистическое

Статистическая механика связывает *энтропию* с вероятностью осуществления макроскопического состояния системы соотношением Больцмана энтропия-вероятность

$$S = k_B \ln W, \quad (5)$$

где W — вероятность осуществления данного состояния, а k_B — постоянная Больцмана.

В отличие от термодинамики статистическая механика рассматривает специальный класс процессов - флуктуации, при которых система переходит из более вероятных состояний в менее вероятные и вследствие этого её *энтропия* уменьшается. Наличие флуктуаций показывает, что закон возрастания *энтропии* выполняется только статистически: в среднем для большого промежутка времени.

Энергетическое

Энергетическое определение энтропии выводится на основе баланса энергии, выраженного в лоренц-инвариантной форме с учётом полной энергии вещества и полей. Формула для энтропии имеет вид:

$$S = - \int \frac{r \nabla (u + L - P_0) dV}{T} + const, \quad (6)$$

где u — плотность энергии поля, связанной с системой, в том числе за пределами тела, $L = \int \frac{P}{\rho} d\rho$.

- функция, зависящая от давления p и плотности вещества ρ , r - радиус-вектор элемента объёма, P_0 - давление в покоящейся системе отсчёта, V - объём системы, T - температура как функция местоположения элемента объёма.

Энтропия характеризует структуру системы с точки зрения распределения энергии в объёме внутри и вокруг системы, отражая меру связи и взаимодействия частиц системы. Энергия, связанная с энтропией, обеспечивает целостность системы. В случае достаточно длительного выполнения системой механической работы, работы по созданию градиентов поля, изменению потоков вещества в связи с количеством вещества и его химическим потенциалом, при условии недостаточного притока энергии извне, система может разрушиться из-за недостаточности своей структурной энергии, переходя в состояние с новым положением равновесия. В отличие от формулы Больцмана, энергетическое определение энтропии непосредственно учитывает как механические напряжения и температурные градиенты, так и распределение энергии поля. Если в статистическом определении энтропия системы полагается всегда положительной, то при наличии полей с достаточно большой отрицательной энергией энтропия может стать отрицательной. Типичным примером является гравитационно связанное тело, гравитационная энергия и энтропия которого отрицательны.

В силу второго начала термодинамики, энтропия S_i замкнутой системы не может уменьшаться (закон неубывания энтропии). Математически это можно записать так: $dS \geq 0$, индекс i обозначает так называемую внутреннюю энтропию, соответствующую замкнутой системе. В открытой системе возможны потоки тепла как из системы, так и внутрь неё. В случае наличия потока тепла в систему приходит количество тепла δQ_1 при температуре T_1 и уходит количество тепла δQ_2 при температуре T_2 . Приращение энтропии, связанное с данными тепловыми потоками, равно:

$$dS_0 = \frac{\delta Q_1}{T_1} - \frac{\delta Q_2}{T_2} \quad (7)$$

В стационарных системах обычно $\delta Q_1 = \delta Q_2$, $T_1 > T_2$, так что $dS_0 < 0$. Поскольку здесь изменение энтропии отрицательно, то часто употребляют выражение «приток негэнтропии», вместо оттока энтропии из системы. Негэнтропия определяется таким образом как обратная величина энтропии.

Суммарное изменение энтропии открытой системы будет равно:

$$dS = dS_i + dS_0.$$

Если всё время $dS > 0$, то рост внутренней энтропии не компенсируется притоком внешней негэнтропии, система движется к ближайшему состоянию равновесия, в котором осуществляется возможный для этого состояния максимальный хаос. Если $dS = 0$, то мы имеем стационарный процесс с неизменной общей энтропией. В этом случае в системе осуществляется некоторая внутренняя работа с генерацией внутренней энтропии, которая преобразует, например, температуру T_1 внешнего потока тепла в температуру T_2 уходящего из системы потока тепла. В случае, когда $dS \leq 0$ возникают условия для развития, прогрессивной усложняющейся эволюции, роста порядка и новых структур, жизни живых организмов.

Можно показать, что приток теплоты в систему за время dt определяется выражением:

$$\delta Q = -dt \int \text{div}(S_g + S_p) dV, \quad (8)$$

здесь S_g - вектор плотности потока гравитационной энергии, S_p - вектор плотности потока электромагнитной энергии.

Поскольку $dS = \delta Q/T$, то производство суммарной энтропии можно выразить так:

$$\frac{dS}{dt} = - \int \left(\frac{\text{div} S_{gi}}{T_{gi}} + \frac{\text{div} S_{pi}}{T_{pi}} \right) dV - \int \left(\frac{\text{div} S_{g0}}{T_{g0}} + \frac{\text{div} S_{p0}}{T_{p0}} \right) dV, \quad (9)$$

где первый интеграл относится к производству внутренней энтропии, а второй интеграл описывает скорость изменения внешней энтропии. Индекс i относится к потокам энергии и температурам элементов объема внутри системы, обменивающимся между собой энергией с разными температурами. Индексом o обозначены процессы передачи энергии между элементами объема системы и внешними относительно системы источниками энергии. При этом температуры входящего в систему и исходящего излучений как правило отличаются друг от друга, что следует учитывать при интегрировании в формуле для генерации энтропии.

В открытой системе за счёт притока неэнтропии извне система сдвинута от ближайшего состояния равновесия, к которому она может вернуться при изменении условий. Например, при быстром осуществлении адиабатической изоляции будет $dS_o/dt=0$ и происходит рост внутренней энтропии S_i системы в краткосрочном процессе перехода к равновесию во внутренних процессах.

Другой пример роста энтропии имеет место, когда энтропия системы изменяется за счёт поступления теплоты извне при нагревании. В этом случае система всё более удаляется от прежнего состояния равновесия. Указанные процессы могут быть описаны формулой Больцмана для статистического определения энтропии, когда рост энтропии сопровождается увеличением термодинамической вероятности макроскопического состояния системы. Однако при наличии значительной энергии полей в формулу Больцмана следует вводить поправки для энтропии полей либо использовать энергетическое определение энтропии.

Понятие энтропии тесно связано с другим фундаментальным понятием – энергией. Энергия – общая мера различных форм движения и взаимодействия сущностей. Энергию любой материальной сущности можно условно разделить на две составляющих: свободную и связанную. Свободная энергия – это та часть всей энергии, которая способна к совершению работы. Связанная энергия к совершению работы непригодна.

При преобразованиях энергии из одного вида в другой её общее количество, в соответствии с первым началом, сохраняется постоянным, но изменяется её качество, характеризуемое соотношением между свободной и связанной энергиями. Второе начало термодинамики утверждает, что в закрытых системах процессы преобразования энергии идут в сторону роста связанной энергии, а следовательно, и энтропии. При этом свободная составляющая энергии уменьшается. Можно сказать, что свободная энергия находится в конфликте с энтропией: чем меньше одна, тем больше другая. В связи с этим свободную энергию часто называют отрицательной энтропией, или неэнтропией, хотя это не совсем корректно, поскольку размерности энтропии и энергии различны.

Напомним основные свойства энтропии.

1. В закрытых системах энтропия всегда неотвратно растёт. Оно выражает суть второго начала термодинамики.

2. Рост энтропии означает ликвидацию различий. Различие – это то, что обеспечивает целенаправленное существование любой сущности. Цель этого существования – уменьшение различий. В термодинамическом понимании системный кризис любой системы означает значительный рост энтропии этой организации, её деградацию.

3. Чем больше свободы, тем быстрее растёт энтропия. Скорость роста энтропии – скорость появления разнообразных способов организации сущностей, а свобода способствует этому появлению, ускоряет рост числа способов организации. Поэтому чем больше свободы, тем быстрее низкоэнтропийные сущности превращаются в высокоэнтропийные.

Энтропия неотвратно растёт только в закрытых системах, не взаимодействующих с другими системами и внешней средой. Но в открытых системах энтропия может вести себя по-разному: расти, быть постоянной и даже уменьшаться. Причина различного поведения энтропии объясняется тем, что, в отличие от закрытых систем, где есть только собственная, всегда растущая энтропия, в открытых системах существуют собственная энтропия, которая, как и в закрытых системах, всегда растёт; энтропия, поступающая в открытую систему из внешней среды (импортируемая энтропия); и энтропия, удаляемая из открытой системы во внешнюю среду (экспортируемая энтропия). Кроме того, в общем случае нужно учесть свободную энергию (неэнтропию), компенсирующую рост собственной энтропии и по своему

воздействию на систему эквивалентную экспорту энтропии. Поведение результирующей энтропии зависит от скорости изменения её составляющих. Поэтому результирующая энтропия может вести себя как угодно: расти, уменьшаться или быть постоянной. Если энтропия постоянна, то говорят, что система находится в стационарном режиме.

*Информация это то, что устраняет неопределенность выбора.
Клод Шеннон*

3. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ

Понятие информационной энтропии определено Шенноном для случая дискретных данных, и похоже на понятие термодинамической энтропии. Это - величина, обозначающая количество информации, содержащееся в данном сообщении (или последовательности сигналов).

По Шеннону информация снятая неопределенность. Точнее получение информации - необходимое условие для снятия неопределенности. Неопределенность возникает в ситуации выбора. Задача, которая решается в ходе снятия неопределённости – уменьшение количества рассматриваемых вариантов (уменьшение разнообразия), и в итоге выбор одного соответствующего ситуации варианта из числа возможных. Снятие неопределенности даёт возможность принимать обоснованные решения и действовать. В этом управляющая роль информации.

Информационная энтропия - мера хаотичности информации или мера внутренней неупорядоченности информационной системы. Энтропия увеличивается при хаотическом распределении информационных ресурсов и уменьшается при их упорядочении.

Информационная энтропия - мера хаотичности информации, неопределённость появления какого-либо символа первичного алфавита. При отсутствии информационных потерь численно равна количеству информации на символ передаваемого сообщения.

Информационная энтропия - неопределённость появления какого-либо символа первичного алфавита. При отсутствии информационных потерь численно равна количеству информации на символ передаваемого сообщения. Например, в последовательности букв, составляющих какое-либо предложение на русском языке, разные буквы появляются с разной частотой, поэтому неопределённость появления для некоторых букв меньше, чем для других. Если же учесть, что некоторые сочетания букв (в этом случае говорят об энтропии n -ого порядка) встречаются очень редко, то неопределённость ещё более уменьшается.

Понятие информационной энтропии определено Шенноном для случая дискретных данных и весьма похоже на понятие термодинамической энтропии. Это величина, обозначающая количество информации, содержащееся в данном сообщении (или последовательности сигналов).

Сведения об информационной энтропии необходимы для повышения надёжности передачи сигналов.

Именно на неё ориентируются при задании избыточной информации, передаваемой по линии связи.

Избыточность - термин из теории информации, означающий превышение количества информации, используемой для передачи или хранения сообщения, над его информационной энтропией. Для уменьшения избыточности применяется сжатие данных без потерь, в то же время контрольная сумма применяется для внесения дополнительной избыточности в поток, что позволяет производить исправление ошибок при передаче информации по каналам, вносящим искажения (спутниковая трансляция, беспроводная передача и т. д.).

Чем меньше вероятность какого-либо события, тем большую неопределенность снимает сообщение о его появлении и, следовательно, тем большую информацию оно несёт.

Концепции информации и энтропии имеют глубокие связи друг с другом, но, несмотря на это, разработка теорий в статистической механике и теории информации заняла много лет, чтобы сделать их соответствующими друг другу.

Впервые понятия энтропия и информация связал Шеннон в 1948. С его подачи энтропия стала использоваться как мера полезной информации в процессах передачи сигналов по проводам. Следует подчеркнуть, что под информацией Шеннон понимал сигналы нужные, полезные для получателя. Неполезные сигналы, с точки зрения Шеннона, это шум, помехи. Если сигнал на выходе канала связи является точной копией сигнала на входе то это означает отсутствие энтропии. Отсутствие шума означает максимум информации.

Взаимосвязь энтропии и информации нашло отражение в формуле:

$$H + I = I,$$

где H – энтропия, I – информация. Этот вывод количественно был обоснован Бриллюэном.

В общем виде закон сохранения суммы энтропии информации для случая дискретной переменной записывают в виде равенства:

$$I[X] + H[X] = \text{const.} \quad (10)$$

Так, в процессе временной эволюции газа Больцмана к равновесному состоянию, сумма информации и энтропии остаётся постоянной:

$$I[r, p | t] = S_0 = \text{const.} \quad (11)$$

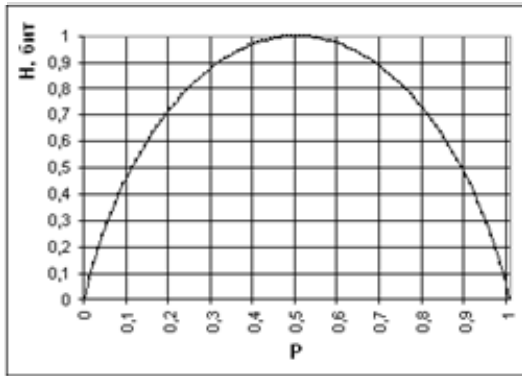
При этом константа определяется энтропией равновесного состояния. Информация равновесного состояния:

$$I[r, p | t = \infty] = A_s(t = \infty) = 0. \quad (12)$$

Для газа Больцмана положительность информации есть естественное свойство системы.

Ситуация максимальной неопределенности предполагает наличие нескольких равновероятных альтернатив (вариантов), т.е. ни один из вариантов не является более предпочтительным. Причём, чем больше равновероятных вариантов наблюдается, тем больше неопределенность, тем сложнее сделать однозначный выбор и тем больше информации требуется для этого получить. Для N вариантов эта ситуация описывается распределением вероятностей: $\{1/N, 1/N, \dots 1/N\}$. Минимальная неопределенность равна 0, т.е. эта ситуация полной определенности, означающая что выбор сделан, и вся необходимая информация получена. Распределение вероятностей для ситуации полной определенности выглядит так: $\{1, 0, \dots 0\}$.

Величина, характеризующая количество неопределенности в теории информации обозначается символом H и имеет название энтропия, точнее информационная энтропия. Энтропия (H) – мера неопределенности, выраженная в битах. Так же энтропию можно рассматривать как меру равномерности распределения случайной величины.



На **Рис. 1** показано поведение энтропии для случая двух альтернатив, при изменении соотношения их вероятностей (p , $(1-p)$). Максимального значения энтропия достигает в данном случае тогда, когда обе вероятности равны между собой и равны 0,5, нулевое значение энтропии соответствует случаям ($p_0=0$, $p_1=1$) и ($p_0=1$, $p_1=0$).

Рис. 1. Поведение энтропии для случая двух альтернатив.

Количество информации I и энтропия H характеризуют одну и ту же ситуацию, но с качественно противоположенных сторон. I – это количество информации, которое требуется для снятия неопределенности H . По определению Бриллюэна информация есть отрицательная энтропия (негэнтропия). Когда неопределенность снята полностью, количество полученной информации I равно изначально существовавшей неопределенности H . При частичном снятии неопределенности, полученное количество информации и оставшаяся неснятой неопределенность составляют в сумме исходную неопределенность. $H_i + I_i = H$.

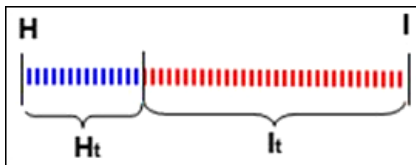


Рис.2 . Связь между энтропией и количеством информации.

По этой причине, формулы для расчета информационной энтропии H являются и формулами для расчёта количества информации I , т.е. когда речь идёт о полном снятии неопределенности, H в них может заменяться на I .

В 1948, исследуя проблему рациональной передачи информации через зашумлённый коммуникационный канал, Шеннон предложил вероятностный подход к пониманию коммуникаций и создал истинно математическую теорию энтропии. Его идеи послужили основой разработки двух направлений: теории информации, которая использует понятие вероятности и эргодическую теорию для изучения статистических характеристик данных и коммуникационных систем, и теории кодирования, в которой используются алгебраические и геометрические инструменты для разработки эффективных кодов.

Известны разные определения энтропии:

1. Поворот, превращение, опасное изменение чего-либо; необратимый процесс рассеивания энергии.
2. Направление, движение к беспорядку, хаосу и смерти.
3. В общей теории систем - естественное состояние закрытой системы, стремящейся исчерпать свою энергию и остановиться.

Как уже упоминалось, под информационной энтропией понимают меру хаотичности информации. Можно определить энтропию случайной величины, введя предварительно понятия распределения случайной величины X , имеющей конечное число значений:

$$P_X(x_i) = p_i \quad p \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$
$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

и собственной информации:

$$I(X) = -\log P_X(X) \quad (13)$$

Замечание. Собственная информация - статистическая функция дискретной случайной величины. Она является случайной величиной, которую следует отличать от её среднего значения – информационной энтропии. Собственную информацию можно понимать как «меру неожиданности» события - чем меньше вероятность события, тем больше информации оно содержит.

Тогда энтропия определяется как:

$$H(X) = E(I(X)) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log p(i) \quad (14)$$

От основания логарифма зависит единица измерения информации и энтропии: бит, нат или хартли.

Информационная энтропия для независимых случайных событий x с n возможными состояниями (от 1 до n) рассчитывается по формуле:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i) \quad (15)$$

Эта величина также называется средней энтропией сообщения. Величина $\log_2 \frac{1}{p(i)}$ называется частной энтропией, характеризующей только i -е состояние.

Энтропия события x является суммой с противоположным знаком всех произведений относительных частот появления события i , умноженных на их же двоичные логарифмы (основание 2 выбрано только для удобства работы с информацией, представленной в двоичной форме). Это определение для дискретных случайных событий можно расширить для функции распределения вероятностей.

Шеннон предположил, что прирост информации равен утраченной неопределённости, и задал требования к её измерению:

- мера должна быть непрерывной; т. е. изменение значения величины вероятности на малую величину должно вызывать малое результирующее изменение функции;
- в случае, когда все варианты равновероятны, увеличение количества вариантов (букв) должно всегда увеличивать значение функции;
- должна быть возможность сделать выбор в два шага, в которых значение функции конечного результата должно являться суммой функций промежуточных результатов.

Шеннон показал, что единственная функция, удовлетворяющая этим требованиям, имеет вид:

$$-K \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i) \quad (16)$$

где K - константа (и в действительности нужна только для выбора единиц измерения).

Измерение энтропии ($H = -p_1 \log_2 p_1 - \dots - p_n \log_2 p_n$), применяемое к источнику информации, может определить требования к минимальной пропускной способности канала, требуемой для надёжной передачи информации в виде закодированных двоичных чисел. Для вывода формулы Шеннона необходимо вычислить математическое «количество информации», содержащегося в цифре из источника информации. Мера энтропии Шеннона выражает неуверенность реализации случайной переменной. Таким образом, энтропия является разницей между информацией, содержащейся в сообщении, и той частью информации, которая точно известна (или хорошо предсказуема) в сообщении. Примером этого является избыточность языка - имеются явные статистические закономерности в появлении букв, пар последовательных букв, троек и т. д.

Информационная энтропия в каком то смысле связана с термодинамической энтропией. Например, демон Максвелла противопоставляет термодинамическую энтропию информации, и получение какого-либо количества информации равно потерянной энтропии.

В общем случае b -арная энтропия (где b равно 2, 3, ...) источника $S = (S, P)_c$ с исходным алфавитом $S = \{a_1, \dots, a_n\}$ и дискретным распределением вероятности $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ где p_i является вероятностью a_i ($p_i = p(a_i)$) определяется формулой:

$$H_b(S) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_b p_i. \quad (17)$$

Другим способом определения функции энтропии H является доказательство, что H однозначно определена, если H удовлетворяет следующим трём пунктам:

- 1) $H(p_1, \dots, p_n)$ определена и непрерывна для всех p_1, \dots, p_n , где $p_i \in [0,1]$ для всех $i = 1, \dots, n$ и $p_1 + \dots + p_n = 1$. (Заметьте, что эта функция зависит только от распределения вероятностей, а не от алфавита.)
- 2) Для целых положительных n , должно выполняться следующее неравенство:

$$H\left(\underbrace{\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}}_n\right) < H\left(\underbrace{\frac{1}{n+1}, \dots, \frac{1}{n+1}}_{n+1}\right) \quad (18)$$

- 3) Для целых положительных b_i , где $b_1 + \dots + b_k = n$, должно выполняться равенство:

$$H\left(\underbrace{\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}}_n\right) = H\left(\frac{b_1}{n}, \dots, \frac{b_k}{n}\right) + \sum_{i=1}^k \frac{b_i}{n} H\left(\underbrace{\frac{1}{b_i}, \dots, \frac{1}{b_i}}_{b_i}\right) \quad (19)$$

Энтропия является количеством, определённым в контексте вероятностной модели для источника данных. Например, кидание монеты имеет энтропию $-2(0,5 \log_2 0,5) = 1$ бит на одно кидание (при условии его независимости). У источника, который генерирует строку, состоящую только из букв «А», энтропия равна нулю: $-\sum_{i=1}^{\infty} \log_2 1 = 0$. Так, к примеру, опытным путём можно установить, что энтропия английского

текста равна 1,5 бит на символ, что конечно будет варьироваться для разных текстов. Степень энтропии источника данных означает среднее число битов на элемент данных, требуемых для её зашифровки без потери информации, при оптимальном кодировании.

Некоторые биты данных могут не нести информации. Например, структуры данных часто хранят избыточную информацию, или имеют идентичные секции независимо от информации в структуре данных.

Количество энтропии не всегда выражается целым числом бит.

Общие свойства энтропии:

- 1) Неотрицательность: $H(X) \geq 0$.
- 2) Ограниченность: $H(X) \leq \log |X|$. Равенство, если все элементы из X равновероятны.
- 3) Если X, Y независимы, то $H(XY) = H(X) + H(Y)$.
- 4) Энтропия - выпуклая вверх функция распределения вероятностей элементов.
- 5) Если X, Y имеют одинаковое распределение вероятностей элементов, то $H(X) = H(Y)$.

Остановимся несколько подробнее на математических свойствах энтропии

Свойство 1

Неопределенность физической системы равна нулю: $H = H(p_1, p_2, \dots, p_n) = 0$, если одно из чисел p_1, p_2, \dots, p_n равно 1, а остальные равны нулю.

Доказательство: $-1 \log 1 = 0$

$$-0 \log 0 = \lim(-p_i \log p_i) = \lim\left(-\frac{\log p_i}{\frac{1}{p_i}}\right) = \lim\left(\frac{-\log \frac{e}{p_i}}{-\frac{1}{p_i^2}}\right) = \lim(p_i \log e) = 0 \quad (20)$$

Свойство 2

Энтропия максимальна, когда все состояния источника равновероятны.

Доказательство:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Ищем локальный экстремум. Для этого рассмотрим функционал

$$F = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i + \lambda \left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right),$$

где λ по Лагранжу, а $\left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right)$ - из условия ограничения. Берём первые частные производные по p_i :

$$\log p_1 = \lambda - \log e;$$

$$\log p_2 = \lambda - \log e$$

$$\log p_n = \lambda - \log e$$

Поскольку правые части всех выражений одинаковые, можно сделать вывод о равновероятных состояниях физической системы, т. е.: $p_1 = p_2 = \dots = p_n$,

$$\text{Тогда: } H = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = \log n \quad (21)$$

Получили выражение для максимальной энтропии, соответствующее формуле Хартли.

Свойство 3

Всякое изменение вероятностей p_1, p_2, \dots, p_n в сторону их выравнивания увеличивает энтропию $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Доказательство:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Пусть $p_2 > p_1$, тогда $\Delta p \leq \frac{p_2 - p_1}{2}$, $p_1^* + p_2^* + \dots + p_n^* \rightarrow H^*$

Нам нужно доказать, что $H^* - H > 0$

$$\Delta P = P^* - P = \frac{\partial H}{\partial p_1} \Delta p_1 + \frac{\partial H}{\partial p_2} (-\Delta p_2) = \left(\frac{\partial H}{\partial p_1} - \frac{\partial H}{\partial p_2} \right) \Delta p$$

$$\frac{\partial H}{\partial p_1} = -\log p_1 - \log e \quad \text{и} \quad \frac{\partial H}{\partial p_2} = -\log p_2 - \log e$$

$\Delta H = \log \frac{p_2}{p_1}$, $\Delta p > 0$, так как $p_2 > p_1$, что и требовалось доказать.

Свойство 4

Математическое ожидание вероятности есть энтропия

$$M(-\log p_i) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (22)$$

Из всех дискретных распределений с фиксированным средним геометрическое распределение является одним из распределений с максимальной информационной энтропией.

Геометрическое распределение в теории вероятностей - это распределение дискретной случайной величины равной количеству испытаний случайного эксперимента до наблюдения первого «успеха».

4. СРАВНЕНИЕ ЭНТРОПИЙ

4.1 Термодинамическая и статистическая энтропии

Введение понятия энтропии связано с поиском координаты теплообмена, т.е. физической величины, неизбежно изменяющейся в процессе теплообмена и остающейся неизменной в его отсутствие (подобно тому, как ведет себя объем в процессе совершения работы сжатия). Клаузиус нашел эту координату для частного случая равновесного (обратимого) теплообмена путем разбиения произвольного цикла тепловой машины серий адиабат и изотерм на ряд элементарных обратимых циклов Карно.

Название параметра S , данное ему Р. Клаузиусом (в переводе с греческого энтропия означает «внутреннее превращение») подчеркивало совершенно иное и необычное для науки того времени свойство энтропии возрастая и в отсутствие теплообмена (вследствие самопроизвольного превращения упорядоченных форм энергии в тепловую). Эта двойственность энтропии как параметра, существующего независимо от необратимости, но возрастающего именно вследствие последней, и породила многочисленные дискуссии о физическом смысле этого параметра. Оглядываясь назад, можно лишь сожалеть, что в связи с крушением теории теплорода как «неуничтожимого флюида» для введенного Р. Клаузиусом нового параметра не нашлось лучшего термина, более близкого по смыслу к теплороду как аналогу массы воды, падающей в водяных колесах с одного уровня на другой. Эта аналогия тепловых машин с водяными двигателями была подмечена ещё С. Карно (1824). Не изменилась, к сожалению, ситуация и после введения Гельмгольцем (1847) понятия «связанной» (с тепловым движением) энергии TS , когда, казалось бы, стало ясным, что энтропия Клаузиуса S - это количественная мера хаотического движения, находящаяся в таком же отношении к связанной энергии TS , как импульс - к кинетической энергии.

Некоторые учёные в серьёз полагают, что назови Клаузиус энтропию как-то иначе, например, интегралом Клаузиуса, никому бы и в голову бы не пришло сравнивать техническую энтропию с термодинамической.

Физический смысл энтропии Клаузиуса S несложно выяснить, если признать существование тепловой энергии как части внутренней энергии. Эта энергия изменяется как вследствие подвода тепла извне, так и вследствие выделения в системе теплоты диссипации, т.е. превращения в тепловую других (упорядоченных) форм внутренней энергии системы. Энтропия играет по отношению к внутренней тепловой энергии ту же роль, что и импульс системы - по отношению к кинетической энергии. Иными словами, энтропия S характеризует суммарный импульс частиц системы, утративший свою векторную природу вследствие хаотичности теплового движения. Эту меру количества хаотического движения, складывающуюся из модулей импульсов отдельных частиц системы, следовало бы назвать *термоимпульсом*. В таком случае сразу бы стало ясным, что энтропия должна возрастать не только при подводе тепла извне, но и при возникновении её внутренних источников вследствие трения, экзотермических химических реакций, воздействия токами высокой частоты, индукционного нагрева и т.п., т.е. при превращении упорядоченных форм энергии в тепловую.

Поиски физического смысла энтропии и попытки найти альтернативу неизбежному, казалось бы, выводу о «тепловой смерти Вселенной» привели к статистическому толкованию второго начала термодинамики. Полагая, что возрастание энтропии в необратимых процессах отражает стремление природы к более вероятному состоянию, Л. Больцман пришёл к выводу, что зависимость между энтропией S и термодинамической вероятностью состояния Ω имеет вид:

$$S = k \ln |\Omega|, \quad (23)$$

где k - константа, названная впоследствии его именем.

Согласно этому выражению, энтропия термодинамических систем пропорциональна логарифму вероятности их состояния. Основным постулатом при этом явилось предположение, что наиболее вероятное распределение частиц (осуществляемое наибольшим числом способов) является одновременно и равновесным. Основанием для этого послужило то обстоятельство, что обе названные величины (энтропия и «термодинамическая» вероятность состояния Ω) аддитивны и достигают максимума в состоянии равновесия. Поскольку же наибольшему значению Ω соответствует состояние «молекулярного хаоса», энтропия в концепции Больцмана приобрела смысл меры неупорядоченности состояния системы. Так из интуитивных представлений о «молекулярном хаосе» энтропия в концепции Больцмана приобрела смысл меры неупорядоченности любой системы.

В этой связи уместен вопрос, в какой мере обоснован «принцип Больцмана», предполагающий, что наиболее вероятное распределение частиц газа по скоростям является одновременно и равновесным? В самом деле, если говорить о тепловом равновесии или создавать математическую модель теплового движения, то вполне логично было предположить, что тепловое равновесие можно отождествить с состоянием, характеризующимся максимальным числом перестановок различных молекул и потому встречающимся наиболее часто. Однако для случаев нетеплового равновесия или для более сложных молекулярных моделей систем со многими степенями свободы наиболее вероятно иное распределение тех же или иных свойств.

Важно, что допущение Больцмана о равновероятности всех микросостояний термодинамической системы взаимодействующих частиц никоим образом не соответствует действительности. При этом, даже если между S и Ω и существует корреляция, ниоткуда не следует, что энтропия является однозначной функцией только Ω . К тому же энтропия - отнюдь не единственная величина, самопроизвольно изменяющаяся в одном направлении. Односторонне изменяется и объем системы при расширении газа в пустоту, напряжения в телах при их релаксации, степени полноты самопроизвольных химических реакций, векторы поляризации и намагниченности после изоляции диэлектриков и магнетиков после изоляции их от внешних полей, и т.д. и т.п. Более того, односторонне изменяются в изолированной системе и такие функции состояния, как энергия Гельмгольца $F = U - TS$ и Гиббса $G = U + pV - TS$, которые полнее отражают изменения их состояния, поскольку внутренняя энергия U заведомо зависит от всех переменных состояния поливариантной системы. Казалось бы, именно эти характеристические функции и следовало бы связывать с вероятностью состояния, а не энтропию как один из их независимых аргументов. Наконец, термодинамическая вероятность во многом зависит от того, какие частицы мы считаем различимыми.

Отсюда вывод: энтропия стала мерой «хаоса» исключительно в силу субъективных причин.

Со статистической трактовкой энтропии связано появление еще одной её разновидности – «негэнтропии» (negative entropy). Впервые этот термин применил Больцман при статистической трактовке понятия энтропии. По Больцману, процесс передачи отрицательной энтропии от Солнца к Земле означает их перераспределение между ними с уменьшением энтропии Земли и её «упорядочиванием». Отсюда

вывод: борьба биосистем за существование - борьба за негэнтропию, а не за сырье и свободную энергию. Э. Шредингер развил идеи о «поставке отрицательной энтропии с солнечным излучением» и о «высасывании» её организмами из окружающей среды». Трактовка энтропии как антипода понятий «организация», «упорядоченность» и «сложность» игнорирует отсутствие в термодинамике понятия отрицательной энтропии и потому искажает истинную связь этого понятия с необратимостью и диссипацией.

В термодинамике энтропия является носителем тепловой формы движения, т.е. величиной, способной передаваться через границы системы в процессе теплообмена или массообмена между ней и окружающей средой. Это обстоятельство послужило основанием для введения в термодинамике неравновесных процессов понятия «потока энтропии», аналогичного потоку вещества, заряда и т.п. Говорить же о переносе через границы системы «вероятности состояния» бессмысленно.

Рассмотрим самопроизвольный процесс смешения невзаимодействующих газов при постоянном объёме после удаления разделявшей их перегородки. Этот процесс не изменяет ни температуры, ни давления, ни состава системы в целом. Многокомпонентная термомеханическая система ещё до смешения находится в полном (термическом, механическом и химическом) равновесии, так что процесс смешения не может вызвать приближения её к равновесию ни по одной из располагаемых ею степеней свободы. Тем не менее процесс самопроизвольного перемешивания также соответствует приближению системы к более вероятному состоянию. Эта тенденция к перемешиванию возникает уже при числе молекул, равном или большем трёх при сколь угодно малом взаимодействии между ними, т.е. в условиях, когда совершенно неуместно говорить вообще о термодинамической системе. Поэтому достижение наиболее вероятного состояния ещё не является достаточным признаком термодинамического равновесия. Иными словами, равновесие и хаос - понятия различимые. Особое место в этом плане занимают метастабильные состояния, которые не соответствуют максимуму вероятности, однако являются разновидностью равновесных состояний. К тому же энтропия равновесного состояния не может быть изменена в отсутствие воздействия извне, в то время как статистическая энтропия предполагает наличие её флуктуаций.

В качестве дополнительных примеров различного поведения термодинамической и статистической энтропии можно привести также самопроизвольное образование кристаллов льда в переохлажденной жидкости или выпадение осадка в пересыщенном растворе, сопровождающиеся упорядочением его структуры (т.е. понижением энтропии Больцмана и Гиббса), и одновременно - повышением температуры и возрастанием энтропии термодинамической. Кстати, известно вещество (водный раствор органических соединений циклодекстрина и 4-метилпиридина), которое затвердевает при нагреве и плавится при его обратимом охлаждении, т.е. ведёт себя противоположно статистической энтропии. Статистическая энтропия уменьшается и в процессах «самоорганизации», сопровождающейся удалением системы от состояния равновесия, в то время как термодинамическая энтропия при этом остаётся в лучшем случае неизменной (поскольку вывести систему из равновесия можно только путем совершения над ней полезной работы, которая, как известно, относится к адиабатическим воздействиям и не изменяет энтропии системы). Это замечание относится и к многочисленным примерам уменьшения статистической энтропии системы под действием внешних потенциальных сил, также вызывающих их упорядочивание.

Отличие термодинамической и статистической энтропии проявляется наглядно и при оценке её величины для заполняющего Вселенную реликтового излучения. Если статистическая температура этого излучения, найденная по средней скорости движения космических частиц, превышает 2000К, то термодинамическая температура, найденная по максимуму излучения (из его спектральных характеристик), менее 3К. Соответственно различаются и величины энтропий.

4.2 Информационная и термодинамическая энтропии

Остановимся теперь на важном вопросе – взаимосвязи между информационной энтропией (энтропией Шеннона), H , и статистической энтропией (энтропией Больцмана), S .

Формула Шеннона совпала по форме с формулой Больцмана-Планка, полученной на 70 лет ранее для измерения термодинамической энтропии идеального газа. В результате энтропию стали понимать как меру неупорядоченности, неорганизованности материальных систем.

Так, если некий опыт имеет n равновероятных исходов, а другой опыт m равновероятных исходов, то составной опыт имеет nm таких исходов. Если мы вводим меру неопределенности f , то естественно потребовать, чтобы она была такова, чтобы во-первых, неопределенность росла с ростом числа возможных исходов, а во-вторых, неопределенность составного опыта была равна просто сумме неопределенности отдельных опытов, иначе говоря, мера неопределенности была аддитивной: $f(nm)=f(n)+f(m)$. Именно такая удобная мера неопределенности была введена Шенноном:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^N P(X_i) \log P(X_i), \quad (24)$$

где X – дискретная случайная величина с диапазоном изменчивости N , $P(X_i)$ – вероятность i – го уровня X . X можно представлять как сигнал, который может быть записан самописцем, как рельеф местности вдоль некоторого профиля, как пространственное распределение плотности энергии поля и т.п.

Возможная величина энтропии заключена в пределах:

$$0 \leq H(X) \leq \log N.$$

Нижняя грань соответствует вырожденному распределению. Неопределенность величины X отсутствует. В вариационном ряду это соответствует $X_j = \text{const}$. Верхняя грань соответствует равномерному распределению. Все N значений X_i встречаются с равной вероятностью. В вариационном ряду это может соответствовать, в частности, линейному тренду $X_j = ar_j$. Если две случайные величины X и Y , каким-то образом связанные друг с другом (например на входе и выходе какой-то системы), то знание одной из них, уменьшает неопределенность значений другой. Остающаяся неопределенность оценивается условной энтропией. Так, условная энтропия X при условии знания Y определяется как:

$$H(X|Y) = \sum_{k=1}^K P(Y_k) \sum_{i=1}^N P(X_i|Y_k) \log P(X_i|Y_k) \quad (25)$$

где $P(X_i|Y_k)$ – условные вероятности (вероятность i -го значения X при условии $Y=Y_k$), диапазоны изменчивости X и Y (соответственно N и K) не обязательно совпадают.

Чтобы рассчитать $H(X|Y)$, рассчитывают K энтропий X , соответствующих фиксированному Y_k и затем суммируют результаты с весами $P(Y_k)$. Очевидно, условная энтропия меньше безусловной, точнее:

$$0 < H(X|Y) < H(X).$$

Нижняя грань соответствует однозначной зависимости X от Y , верхняя – полной независимости.

Информация определяется разностью между безусловной и условной энтропиями. Это уменьшение неопределенности «знания чего-то за счёт того, что известно что-то». При этом замечательно, что информация I симметрична, т.е. $I_{YX} = I_{XY}$:

$$I_{XY} = H(X) - H(X|Y) = H(Y) - H(Y|X) = I_{YX}.$$

Информация всегда неотрицательна; она равна нулю, когда X и Y независимы; информация максимальна и равна безусловной энтропии, когда между X и Y имеется однозначная зависимость. Таким образом, безусловная энтропия – это максимальная информация, потенциально содержащаяся в системе (вариационном ряду).

Информация – характеристика степени зависимости некоторых переменных. Это предельно общая характеристика. Ее можно сравнить с корреляцией, но если корреляция характеризует лишь *линейную* связь переменных, информация характеризует *любую* связь. Тип связи может быть совершенно любым и, более того, неизвестным нам. Это не мешает рассчитать информацию, количественно сравнивать между собой разнотипные зависимости и т.д. Платой за общность является лишь невозможность, зная количество информации написать уравнение связи переменных (в отличие от того, как корреляция позволяет легко переходить к регрессии).

Меру неопределённости называют «энтропией дискретного источника информации» или «энтропией конечного ансамбля». То, что скрывается за этой формулой, относящейся к «мере свободы чьего-либо (или какой-либо системы) выбора в выделении сообщения», совпадало с математическим описанием энтропии термодинамической системы, предложенной Больцманом:

$$H = \frac{1}{M_n} \sum_{i=1}^N m_i \ln \frac{m_i}{M_n} \quad (26)$$

Отсюда был сделан вывод: количество информации математически тождественно энтропии того или иного объекта, взятой с обратным знаком. Энтропия характеризует меру хаотичности, неупорядоченности системы. Следовательно, информация может быть представлена как отрицательная энтропия (или негэнтропия) системы».

Этот вывод незамедлительно был оспорен многими видными учёными, но продолжает оставаться популярным, т.к. происходит медленное накопление фактов в его поддержку.

Энтропия Больцмана выведена для идеального газа и трактуется как мера беспорядка, мера хаоса системы. Для идеального газа (*но только для идеального газа!*) энтропии Больцмана и Клаузиуса тождественны, поэтому и эмпирическая функция Клаузиуса стала объясняться как мера вероятности состояния молекулярной системы. Сложилось мнение, что энтропия и беспорядок - одно и то же. Несмотря

на то, что энтропия описывает узкий класс природных объектов (идеальные газы), её некритично привлекают для описания более сложных объектов.

В реальных молекулярных системах существуют два вида энергии: потенциальная (энергия связей) и кинетическая (энергия движения молекул). Больцман потенциальную энергию не учитывал. Но формула Клаузиуса, являясь эмпирической, автоматически учитывала все виды энергии. Поэтому значения энтропий Больцмана и Клаузиуса совпадают только в применении к идеальным газам, где доля потенциальной энергии невелика. Для расчетов энтропии жидкостей и твердых тел с высоким значением потенциальной энергии используют, как правило, только энтропию Клаузиуса ($S=Q/T$). Во Вселенной относительно стационарные структуры существуют только благодаря силам взаимодействия, но именно эти силы энтропия Больцмана не учитывает. Поэтому прогноз тепловой смерти Вселенной ошибочен.

Сопоставим теперь энтропию Шеннона с энтропией Больцмана и Клаузиуса. Энтропия Клаузиуса

$$S = Q/T \quad (27)$$

где Q – теплота, T – температура.

Очевидно, что формулы Шеннона и Клаузиуса совершенно не схожи. В последней фигурирует температура, которую к теории связи никак не применишь. Но формулы Больцмана ($S=K\ln W$) и Шеннона ($H=-\sum P_i \log_2 P_i$) имеют некоторое внешнее сходство. Рассмотрим крайние случаи. Допустим, по каналу связи передается один и тот же сигнал (буква А и пауза) и никаких помех нет. Вероятность обнаружить сигнал А равна $1/2$. Тогда $H = (1/2\log_2 1/2 + 1/2\log_2 1/2) = 1$. Это означает, что по каналу передается количество информации $Y = \log_2 2 = 1$ бит. Смысл информации Шеннона сводится к достоверному отличию одного сигнала от другого. Например, отличию сигнала на входе канала от сигнала на выходе. Сходство S и H в том, что стремление к равновероятности (однородности) состояний системы увеличивает обе энтропии. Но в энтропии Больцмана нет верхнего предела S . Чем больше W , тем выше S . У Шеннона $H_{\max} = 1$.

В соответствии со вторым законом термодинамики закрытые системы, т.е. системы лишённые возможности вещественно-энергетически-информационного обмена с внешней средой, стремятся, и с течением времени неизбежно приходят к естественному устойчивому равновесному внутреннему состоянию, что соответствует состоянию с максимальной энтропией. Закрытая система стремится к однородности своих элементов и к равномерности распределения энергии связей между ними. Т.е. в отсутствии информационного процесса материя самопроизвольно забывает накопленную информацию.

В статистической механике энтропия характеризует неопределённость, связанную с недостатком информации о состоянии системы. Наибольшей оказывается энтропия у равновесной полностью беспорядочной системы – о её состоянии наша осведомленность минимальна. Упорядочение системы (наведение какого-то порядка) связано с получением некоторой дополнительной информации и уменьшением энтропии. В теории информации энтропия также отражает неопределённость, однако, это неопределенность иного рода – она связана с незнанием результата опыта с набором случайных возможных исходов. Поэтому, хотя между энтропией в физике и информатике много общего, необходимо различать эти понятия.

Важно, что в термодинамике под энтропией системы подразумевают сумму энтропии всех её молекул, но не учитывают макросостояния самой системы.

Энтропия системы – функция её макросостояний, поэтому она не тождественна термодинамической энтропии. Так, энтропия всегда неподвижно лежащего мяча, с которым не может ничего произойти, равна нулю, потому что для него существует только одно состояние. Но его термодинамическая энтропия, если газ внутри находится в равновесном состоянии, будет максимальной. Факт прекращения всякого развития в системе «мяч» характеризуется именно уменьшением уровня её энтропии до нуля, хотя сумма энтропии его молекул максимальна. Максимальна её термодинамическая энтропия, но она не характеризует систему, как единое целое. Поэтому можно сказать, что «тепловая смерть» – нулевая энтропия системы в целом. Это возможно и в том случае, если энтропия каждой молекулы равна нулю. Развитие системы прекращается, если её энтропия становится равной нулю, независимо от суммы энтропий составляющих её молекул, которая может быть и максимальной и минимальной.

Таким образом, сейчас известно три основных варианта энтропий. В термодинамике – это функция состояния (Клаузиус) и мера беспорядка (Больцман). В теории информации – мера достоверности передаваемой по каналу связи информации (Шеннон). При этом энтропия Больцмана является мерой беспорядка, хаотичности, однородности молекулярных систем; энтропия Клаузиуса пропорциональна количеству связанной энергии, находящейся в системе, которую нельзя превратить в работу; энтропия Шеннона количественно характеризует достоверность передаваемого сигнала и используется для расчета количества информации.

Существует явное различие между термодинамической S -энтропией и H -энтропией Шеннона. S -информация лишь служит мерой неопределённости при статистическом описании системы, тогда как формула Шеннона (при соответствующей конкретизации) служит мерой информации открытых систем как в процессах временной эволюции, так и при эволюции стационарных состояний в пространстве управляющих параметров.

При сравнении термодинамической статистической и шенноновской информации, следует учитывать, что Шеннон дал два определения информации. Первое совпадает с определением энтропии Больцмана. Эта информация, как и энтропия Больцмана является мерой степени неопределённости при выбранном уровне статистического описания рассматриваемой системы. Поэтому используется термин S -информации.

Такая информация не годится для описания открытых систем. Более адекватным для открытых систем является другое, также предложенное Шенноном определение информации. Пусть имеется функция распределения двойного набора переменных $f(X,Y)$ рассматриваемой системы. Это позволяет определить информацию об объекте X относительно Y , и наоборот. В обоих случаях информация определяется разностью безусловной и условной энтропий и связана тем самым с соответствующим изменением степени неопределённости о состоянии выделенной системы.

Вопрос взаимосвязи термодинамической энтропии Больцмана и энтропии информационных процессов был и остаётся предметом дискуссии. Сторонники наличия такой взаимосвязи считают, что энтропия Больцмана и информационная энтропия эквивалентны друг другу. При этом в качестве аргумента приводится тот факт, что в традиционной формуле информационной энтропии Шеннона присутствует коэффициент пропорциональности K , зависящий от выбора единиц измерения. Поэтому, беря в качестве K постоянную Больцмана k , можно осуществлять переход от информационной энтропии к энтропии термодинамической. Противники взаимосвязи энтропии Больцмана и информационной энтропии, в свою очередь, утверждают, что термодинамическая энтропия и энтропия информационных процессов – это разные величины, что видно хотя бы из того, что информационная энтропия не является термодинамическим параметром.

Тем не менее, появились доказательства, что между информационной (технической) энтропией и термодинамической энтропией Больцмана существует определенная взаимосвязь, форма которой, однако, отрицает их эквивалентность. Остановимся на аналогии между подходом Больцмана к анализу поведения молекул в замкнутом сосуде и подходом Шеннона к анализу текста.

Энтропия Больцмана обозначает степень неупорядоченности статистических форм движения молекул. Энтропия максимальна при равновероятном распределении параметров движения молекул (направлении, скорости и пространственном положении). Значение энтропии уменьшается, если движение молекул упорядочить. По мере увеличения упорядоченности движения энтропия стремится к нулю (например, когда возможно только одно значение и направление скорости). При составлении какого-либо сообщения (текста) с помощью энтропии можно характеризовать степень неупорядоченности движения (чередования) символов. Текст с максимальной энтропией – это текст с равновероятным распределением всех букв алфавита, т.е. с бессмысленным чередованием букв, например: ЙХЗЦЦЩУЩУШК ШГЕНЕЭФЖЫЫДВЛВЛО АРАПАЯЕЯЮЧЬ СБСЬМ. Если при составлении текста учтена реальная вероятность букв, то в получаемых таким образом «фразах» будет наблюдаться определенная упорядоченность движения букв, регламентируемая частотой их появления: ЕЫТ ЦИЯЬА ОКРВ ОДНТ ЪЧЕ МЛОЦК ЗЬЯ ЕНВ ТША. При учете вероятностей четырехбуквенных сочетаний текст становится настолько упорядоченным, что по некоторым формальным признакам приближается к осмысленному: ВЕСЕЛ ВРАТЬСЯ НЕ СУХОМ И НЕПО И КОРКО. Причиной такой упорядоченности в данном случае является информация о статистических закономерностях текстов. В осмысленных текстах упорядоченность, естественно, еще выше. Так, во фразе ПРИШЛ... ВЕСНА мы имеем еще больше информации о движении (чередовании) букв. Таким образом, от текста к тексту увеличиваются упорядоченность и информация, которой мы располагаем о тексте, а энтропия (мера неупорядоченности) уменьшается.

На связь между энтропией и информацией задолго до Шеннона и Брюллюэна указал венгеро-немецко-англо-американский учёный Сциллард, который в 1929, анализируя парадокс «демон Максвелла», показал, что энтропия, теряемая газом за счет разделения молекул на медленные и быстрые, в точности равна информации, получаемой «демоном Максвелла». Сумма энтропии и информации в системе «газ-наблюдатель» оказалась постоянной величиной, т.е. физическая характеристика оказалась мерой познания, в котором наблюдатель узнаёт о системе ровно столько, сколько она теряет. Познавая систему, он изменяет её, «нарушая» при этом второе начало термодинамики. Такое нарушение неизбежно, поскольку вмешательство наблюдателя, проводящего измерения в системе, нарушает её замкнутость, а, следовательно, исчезают условия, при которых справедлив закон возрастания энтропии.

Способна ли энтропия превращаться в информацию? Некоторые авторы настроены в этом отношении весьма скептически, полагая, что физическая энтропия и энтропия в теории информации имеют случайное сходство. Другие считают, что энтропия прямо переходит в информацию и что получение наблюдателем какой-либо информации о системе неизбежно приводит к эквивалентному снижению энтропии в этой системе. Понятие информации выходит за рамки обычной статистической трактовки и не может быть сведено к энтропии.

Мнение Л. Бриллюэна о том, что энтропия и информация не могут трактоваться порознь и всегда должны рассматриваться совместно, в настоящее время можно считать опровергнутым. Но в явлениях, связанных с превращением энтропии, мы, конечно, сталкиваемся с феноменом информации. Пусть это лишь одно из проявлений информации, но оно весьма поучительно и полезно в управлении. Если верно то, что процесс наблюдения приводит к снижению энтропии в статистической системе, то не означает ли это, что энтропия, будучи объективной, физической характеристикой системы, вместе с тем как-то отображает и наш уровень познания системы, задаваемый применяемыми статистическими средствами? Предположим, что применение функций распределения вероятностей для описания идеального газа связано с нежеланием физика следить за положением и скоростью каждой молекулы. При таком подходе газ становится локально неопределенной системой. Причём количество этой неопределенности можно измерить при помощи энтропии. Получается, что энтропия как мера неопределенности системы – это своего рода цена, которую мы заплатили за желание получить целостное представление о системе. Если бы мы провели опыт по измерению координат импульсов всех молекул газа, то полученный объём информации был бы в точности равен энтропии, поскольку неопределенность в этом случае полностью исчезла. Создается видимость, что энтропия газа обусловлена исключительно применением статистических методов. Известная доля истины в этом, безусловно, есть. Но не вся истина!

4.3. Сравнение энтропии с информацией

Чтобы каким-либо образом описать упорядоченность любой системы, физикам пришлось ввести величину, функцию состояния системы, которая бы описывала её упорядоченность, степень и параметры порядка, самоорганизованность системы. Понятие энтропии впервые было введено в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. Потом энтропия стала применяться и в других областях науки: в статистической физике как мера вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния; в теории информации - мера неопределенности какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы. Все эти трактовки энтропии возможно имеют глубокую внутреннюю связь. Энтропия - функция состояния, т. е. любому состоянию можно сопоставить вполне определенное (с точностью до константы - эта неопределенность убирается по договоренности, что при абсолютном нуле энтропия тоже равна нулю) значение энтропии.

Разные энтропии вводились разными учёными. Приведём некоторые из них.

Энтропия Гиббса – стандартная формула для вычисления статистической механической энтропии термодинамической системы:

$$S = -k_B \sum_i p_i \ln p_i \quad (28)$$

Здесь суммирование ведётся по всем возможным состояниям системы (обычно по $6N$ -мерным точкам, если система состоит из N частиц); множитель k_B отражает два факта: 1) выбор основания логарифма и 2) выбор температурной шкалы.

Термодинамическая энтропия Клазиуса и Кельвина:

$$S = \int \frac{dQ}{T} \quad (29)$$

где Q – энергия, T – температура.

Термодинамическая энтропия - часть внутренней энергии системы, которая не может быть превращена в работу.

Статистическая энтропия Больцмана-Планка:

$$S = H = \ln W, \quad (30)$$

где W – вероятность состояния.

Энтропия Больцмана выведена для идеального газа и трактуется как мера беспорядка, хаотичности, однородности молекулярных систем.

Энтропия Хартли

$$H = \log_2 N, \quad (31)$$

где N – число элементов множества (количество равновероятных состояний).

Техническая (кибернетическая, компьютерная) **энтропия Шеннона**:

$$H = - \sum_{i=0}^{N-1} p(X)_i \log_2(p(X)_i) = \sum_{i=0}^{N-1} p(X)_i \log_2 \left(\frac{1}{p(X)_i} \right) \quad (32)$$

где P – вероятность i -го уровня переменной (сигнала) X с диапазоном изменчивости N .

Энтропия Шеннона количественно характеризует достоверность передаваемого сигнала и используется для расчета количества информации.

Квантовая энтропия фон Неймана:

$$H = -T_r \{ r \ln r \}, \quad (33)$$

где плотность r определяется через волновую функцию $y : r = |y\rangle\langle y|$.

Замечание. Мера квантовой информации: количество информации I в системе численно равно следу квадрата матрицы плотности: $I = \text{Tr}(\rho^2)$. Часто количество квантовой информации определяется просто как число кубитов в системе. Энтропия фон Неймана введена в качестве первой меры квантовой запутанности.

Возникает важный вопрос: имеют ли эти энтропии что-то общее между собой, или кроме имени их ничего не объединяет? Есть учёные, которые отвечают на этот вопрос утвердительно, есть – отрицательно, остальные – сомневаются...

Первая трудность при сравнении этих энтропий – различие в размерностях: размерность S Дж/град, H – безразмерна.

Безразмерная энтропия, конечно удобнее и, чтобы привести (1) к безразмерному виду, надо просто разделить правую часть на постоянную Больцмана k . Эта постоянная не имеет большего смысла, чем коэффициент связи между единицами измерения энергии и температуры. Если бы мы стали измерять температуру в джоулях (что неудобно, но законно), то надобность в этой константе отпала бы. Однако здесь есть чисто количественный нюанс. Величина k весьма мала: $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Разделив (1) на k мы сразу получаем представление о том, насколько велики изменения энтропии в самых заурядных термодинамических процессах по сравнению с теми, которыми мы оперируем в информатике. Это даёт представление о том, насколько велика недоступная на макроуровне информация о микросостоянии вещества. Определение (1) – практически самое важное для теплофизики, но, пользуясь им, трудно увидеть универсальность понятия энтропии. Принципиальным недостатком (1) является также то, что это формула верна только для квазиравновесных состояний. Поэтому мы сосредоточимся на определениях (2) и (3).

Вопрос взаимосвязи энтропии Больцмана с традиционными информационно-энтропийными мерами Хартли и Шеннона, которые при использовании двоичных логарифмов, математически тождественны, давно является предметом дискуссии. Приверженцы этой взаимосвязи считают, что энтропия Больцмана и информационная энтропия эквивалентны друг другу. При этом в качестве аргумента приводится тот факт, что в формулах Хартли и Шеннона, формально похожих на формулу Больцмана, присутствует коэффициент пропорциональности a , зависящий от выбора единиц измерения информации. Поэтому, беря в качестве a постоянную Больцмана k , можно осуществлять переход от информационной энтропии к энтропии термодинамической. Более того, например, по мнению Бриллюэна, при рассмотрении физических систем информацию и термодинамическую энтропию лучше выражать одними и теми же единицами.

В связи с тем, что внешний вид формул совпадает, можно предположить, что понятие информация ничего не добавляет к понятию энтропии. Однако это не так. Если понятие энтропии применялось ранее только для систем, стремящихся к термодинамическому равновесию, т.е. к максимальному беспорядку в движении её составляющих, к увеличению энтропии, то понятие информации обратило внимание и на те системы, которые не увеличивают энтропию, а наоборот, находясь в состоянии с небольшими значениями энтропии, стремятся к её дальнейшему уменьшению.

Противники наличия такой взаимосвязи между энтропией Больцмана и информационно-энтропийными функциями, в свою очередь, утверждают, что это разные величины и задают вопрос: «Разве достаточно формального сходства двух выражений, чтобы одну величину измерять в единицах другой и на этом основании устанавливать между ними непосредственную взаимосвязь?». И, указывают на то, что в литературе вначале отмечалось отличие этих двух величин, обозначаемых одним словом, но позже многие авторы последовали за Бриллюэном, отождествившим термодинамическую и информационную энтропии.

Кроме этих полярных точек зрения, существует и ряд промежуточных, более осторожных мнений. Так, например Эшби, не отрицая определенной связи между энтропией Шеннона и термодинамической энтропией, указывает, что «выводы в этих вопросах требуют большой осторожности, ибо самое незначительное изменение условий или допущений может превратить высказывание из строго истинного в абсурдно ложное». Интересным представляется также мнение Шамбадала, который сначала, вслед за

Бриллюэном, берёт в качестве коэффициента пропорциональности a постоянную Больцмана k , а затем говорит о том, что «тождественность величин I и S (информации и энтропии Больцмана) происходит не столько от самой природы вещей, сколько от нашего произвола».

Скорее всего, меры Хартли и Шеннона действительно имеют взаимосвязь с энтропией Больцмана, но эта взаимосвязь отрицает их эквивалентность и тождественность. Причем каждая из этих информационных энтропий имеет свой физический аспект интерпретации: энтропия Хартли связана с термодинамически равновесным состоянием системы идеальных газов, а энтропия Шеннона, – с энтропией смешения газов и, соответственно, увеличивается по мере приближения системы к состоянию термодинамического равновесия.

У энтропии физической и энтропии информационной разные характеры. Из-за них они и ведут себя по-разному. Действительно, если при взаимодействии двух тел одно из них увеличивает энтропию, то это всегда бывает за счет другого тела. Но ничего подобного не случается с информацией. Остроумно сказал по этому поводу Луи де Бройль: «Если я посылаю вам телеграмму, чтобы известить о падении министерства, я доставляю вам информацию, но в то же время не теряю ее сам».

До сих пор мы оставались в рамках классической информации. Коротко остановимся теперь на информации фон Неймана. Теория квантовой информации чрезвычайно интенсивно развивается в последнее десятилетие в связи с проблемами квантовой нелокальности. Квантовая нелокальность – удивительное явление, которое можно кратко определить так: существуют системы, находящиеся в чистом состоянии, в то время, как их подсистемы – в смешанном. Не менее удивительны и свойства квантовой информации. Так, условная энтропия здесь может быть отрицательна, а информация – больше безусловной энтропии, именно:

$$0 \leq I_{xy} \leq 2 \min (H(X), H(Y)).$$

Отсюда возникают совершенно необычные неклассические связи между процессами

Вернёмся к классической информации. Мерой неопределенности классической информации X является энтропия Шеннона $H(X)$. Если Y - известная (уже переданная получателю) часть информации, то количество дополнительной информации, которую требуется передать, равно условной энтропии $H(X,Y)-H(Y)$, т. е. разности между неопределенностями полной $(X+Y)$ и уже известной информации (Y) . Условная энтропия является неотрицательной величиной ($H(X,Y)-H(Y) \geq 0$), т.к. полное сообщение не менее информативно, чем любая его часть. Иначе говоря, количество дополнительной информации, требуемой для расшифровки сообщения, не может быть меньше нуля (здесь можно провести следующую аналогию: в исходе любого события можно быть уверенным максимум на 100%, но никак не более того...).

Совершенно по-другому обстоит дело с квантовой информацией, неопределенность которой количественно определяется энтропией фон Неймана $H(X)$, которая представляет собой квантово-механическое обобщение энтропии Шеннона. Формула $H(X,Y)-H(Y)$ для объема дополнительной квантовой информации (теперь уже не битов, а кубитов) лишь по форме схожа со своим классическим аналогом. Принципиальное отличие заключается в возможности наличия таких квантовых корреляций между X и Y («запутанности»), что величина $H(X,Y)-H(Y)$ оказывается *отрицательной*. Это означает, что получатель даже части квантовой информации может быть не просто уверен, а даже «более чем уверен», что он владеет всей информацией, и поэтому для расшифровки сообщения не нужно посылать ему дополнительные кубиты.

Мы обычно говорим о детерминированности классического мира и неопределённости мира квантового. С информационной же точки зрения всё оказывается по-другому, причём в квантовом сообщении может быть даже «избыток определенности». Что получателю делать с этой «лишней» определенностью? Он может, например, сохранить её (в форме запутанности) «на чёрный день» и затем использовать для уменьшения неопределенности последующих сообщений.

В квантовой теории, информация - количественная величина, характеризующая систему. Это не те сведения, которые мы можем получить о системе, измеряя какие-то другие характеристики объекта, скажем, его массу, скорость и т. д. В квантовой теории речь идет не о любой характеристике, а о конкретной, имеющей строгое определение. В этом случае об информации говорят как об обычной физической величине, которая может принимать различные значения при изменении состояния системы. Подобно тому, как масса тела увеличивается (уменьшается) при наличии массообмена со средой, так и количество информации изменяется, если система взаимодействует с окружением - и всё это объективные процессы, которые не зависят от нашего субъективного мнения. Именно в этом отношении «информация физична». Мера информации (её количественная характеристика) вводится на основе фундаментальных принципов квантовой теории в терминах матрицы плотности. Суть квантовой информации и одновременно

её исключительная особенность - в том, что эта физическая величина хорошо подходит на роль «первичной субстанции всего сущего».

Квантовая информация является самой фундаментальной количественной характеристикой системы, поскольку для её определения нет необходимости вводить дополнительные соображения о том, какие ещё физические величины (операторы) характерны для данной системы. Квантовая информация как мера существует всегда, если есть система, независимо от того, в каком состоянии она находится. Информация сама по себе является физической сущностью и существует даже тогда, когда система находится в нелокальном состоянии, поэтому её можно считать «первичной субстанцией», из которой в процессе декогеренции могут «проявляться» локальные объекты. «Информация физична» в прямом смысле - она является источником всех других физических процессов и материальных проявлений, которые могут иметь место в системе.

Отсюда и более высокий статус квантовой информации относительно других физических величин, которые мы могли бы дополнительно привлечь для описания системы. А поэтому выше и значимость закона сохранения квантовой информации по сравнению с другими законами сохранения (массы, энергии, импульса и т. д.).

Квантовая теория информации непосредственно связывает информацию с энергией через энтропию фон Неймана, которую можно считать основной физической характеристикой энергоинформационного процесса. Изменение информации сопровождается изменением энергии, а обмен информацией напрямую связан с обменом энергией (справедливо и обратное) - важный вывод, который сделан в физике квантовой информации.

Итак, благодаря небрежному применению Шенноном термина информационная энтропия, последнюю стали идентифицировать со статистической энтропией. Уравнение, связывающее количество информации о системе, полученное при измерениях, с происходящими при этом изменениями вероятности состояния системы оказалось (с точностью до знака) аналогично выражению для статистической энтропии. Это формальное сходство выражений для термодинамической энтропии и уменьшением количества информации привело к их необоснованному отождествлению. Между тем, информационная энтропия связана с процессом получения информации и не является параметром состояния, в отличие от термодинамической энтропии. Сейчас очевидно, что эти два понятия энтропии являются, несмотря на сходство, явно различимыми, и их отождествление произошло от непонимания. О том, насколько велико это различие, свидетельствует хотя бы тот факт, что термодинамическая энтропия не изменяется в процессе совершения обратимой работы, а дефицит информации - изменяется. Использование одного и того же термина (энтропия) для различных величин лишь вводит в заблуждение.

Дальнейшая экстраполяция понятия энтропии за рамки термодинамических систем - появлению математической, лингвистической, интеллектуальной и т.п. энтропии, что еще более запутало смысл энтропии и привело к невероятному переплетению истины и заблуждений. Среди них - парадокс Гиббса (скачок энтропии при смешении невзаимодействующих газов), парадокс отрицательных абсолютных температур («инверсия» 2-го начала термодинамики), парадокс релятивистских тепловых машин (превышение ими КПД цикла Карно) и т.д. . Однако наиболее тяжелым последствием для естествознания в целом явилось обусловленная этими причинами «абсолютизация» принципа возрастания энтропии, сделавшая её мерой «любой и всякой» необратимости.

5. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ И ЭНТРОПИЯ

С учётом походов Клаузиуса-Кельвина и Больцмана-Планка снова рассмотрим 2-ой закон термодинамики, ввиду его важности для понимания связи термодинамической энтропии со статистической, а информации с негэнтропией.

Как известно, под началами термодинамики подразумевают закон сохранения количества энергии при её взаимопревращениях (первое начало), закон сохранения направления изменения качества (работоспособности, организованности) энергии в сторону деградации (второе начало), закон начала отсчёта процесса деградации (третье начало), а также относительно недавно сформулированный закон синергетики – самопроизвольной самоорганизации энергии, рассматриваемый сейчас как четвёртое начало.

Второе начало термодинамики имеет множество формулировок, но суть всех формулировок одна: неотвратимый естественный рост особой величины – энтропии, характеризующей организацию сущностей. Организация любой сущности – это способ её существования. Энтропия сущности есть мера разнообразия способов её существования, т. е. способов организации. Количественно энтропия сущности пропорциональна логарифму числа способов её существования (закон Больцмана). Чем их больше, тем выше энтропия.

Второе начало вводит фундаментальное понятие - энтропию S и её свойства, не имеющее прототипа в предыдущей истории науки. Хотя речь идёт о «первом принципе», второе начало термодинамики имеет множество формулировок. Приведём некоторые из них.

1. Превращение, единственный конечный результат которого состоит в переводе в работу тепла, извлечённого из источника, который на всём протяжении имеет одинаковую температуру, невозможно (М. Планк).
2. Невозможно при помощи неодоушевлённого материального двигателя непрерывно получать работу, только охлаждая какую-либо массу вещества ниже температуры самой холодной части окружающей среды (В. Томсон (Кельвин)).
3. Невозможно построить «вечный двигатель второго рода», т. е. периодически работающую машину, которая производила бы только подъём груза за счёт охлаждения теплового резервуара (В. Оствальд).
4. Тепло не может самопроизвольно переходить от более холодного к более тёплому телу (Р. Клаузиус).
5. Превращение механической работы в тепло может быть полным, однако обратное превращение тепла в работу обязательно должно быть неполным, поскольку всякий раз, когда количество тепла преобразуется в работу, другое количество тепла должно подвергнуться соответствующему компенсирующему изменению (М. Планк).

Эти формулировки строго утверждают, что энтропия - функция состояния системы. Они повторяются в учебниках наиболее часто, хотя именно они наименее специфичны в описании отличия энтропии от переменных, описывающих поля в физике. Поэтому как аксиоматическое утверждение должна быть краткая формулировка: энтропия - функция состояния системы. Тогда утверждения 1 - 5 теряют статус аксиом и становятся строго логически доказуемыми следствиями аксиомы о том, что энтропия есть функция состояния системы. Именно так формулирует второе начало термодинамики А. Зоммерфельд в своём классическом учебнике, разбивая свою формулировку на две части.

6. Каждая термодинамическая система обладает функцией состояния, называемой энтропией. Энтропия вычисляется следующим образом. Система переводится из произвольно выбранного начального состояния в соответствующее конечное состояние через последовательность состояний равновесия; вычисляются все подводимые при этом к системе порции тепла dQ , делятся каждая на соответствующую ей абсолютную температуру T и все полученные таким образом значения суммируются. (Первая часть второго начала термодинамики.). При реальных (не идеальных) процессах энтропия замкнутой системы возрастает. (Вторая часть второго начала термодинамики). (А. Зоммерфельд).

В такой формулировке первое предложение этой аксиомы утверждает существование тепловой энергии, то есть устанавливает свойство энтропии общее со свойствами переменных, описывающих все другие потенциальные поля, для которых справедливо понятие энергии. Дальнейшее в первой части аксиомы Зоммерфельда определяет конкретный вид энтропии как функции состояния. Он задан путём описания процедуры, эквивалентной введению температуры как интегрирующего множителя в виде

$$dS = dQ/T \quad (34)$$

Энергия в неадиабатических процессах квантуется. Неявной констатацией этого факта в формулировке Зоммерфельда является специальная приближённая форма процедуры, описывающей переход системы между её состояниями. Энтропия есть функция состояния системы, а тепло - нет. Формула (34) отражает обычные в математике преобразования, когда с помощью интегрирующего множителя произвольную функцию приводят к виду функции состояния. В этой процедуре (как она формулируется у Зоммерфельда и используется при описании цикла Карно в любом учебнике) есть существенная особенность, которая в другой форме отображает сделанное выше замечание о квантовании.

Отец Сади Карно, образованный человек и активный деятель Французской революции, Лазарь Карно сделал работу о к.п.д. обычных механических машин. В ней он показал, что максимум их к.п.д. достигается тогда, когда в машине отсутствуют удары механических деталей друг о друга, т. е. тогда, когда механические процессы обратимы. Идея безударности, обратимости была понята и использована в работе Сади Карно. Для того, чтобы обеспечить безударность, цикл Карно должен быть представлен как сумма бесконечно малых обратимых циклов. Этот факт отображён в формулировке 6 упоминанием о последовательности состояний равновесия. Такое разбиение подразумевает существование нулевого предела для «толщины элементарных циклов», т. е. нулевого предела приращений энергии. В строгом виде такой предел невозможен. Не случайно в формулировке 6 Зоммерфельда нет упоминания о предельном переходе. Ошибки в формулировке Зоммерфельда нет, но в ней присутствует умолчание. Свойства энтропии по отношению к её приращениям выводит на первый план формулировку второго начала термодинамики, принадлежащую К. Каратеодори.

7. В окрестности любого адиабатически достижимого состояния имеются другие состояния, которые нельзя достичь адиабатическим и обратимым путём, то есть либо недостижимые вообще, либо такие, в которые система может попасть лишь в результате необратимого процесса (К. Каратеодори). Эта формулировка

вводит в термодинамику принципиально новое - изменения энтропии в неадиабатических процессах дискретны. Вот почему Зоммерфельд (цитирующий формулировку Каратеодори 7 в той же книге, в которой он приводит свою формулировку 6), умалчивает в своей формулировке о предельном переходе. Как всегда, обман природы не проходит.

8. В адиабатических процессах энтропия или увеличивается или остаётся неизменной. (Эпштейн).

Существуют формулировки второго начала термодинамики, которые вводят в аксиоматику термодинамики утверждение о детерминизме состояния максимума энтропии и его связи с равновесием.

9. Природа стремится к переходу от менее вероятных состояний к более вероятным (Л. Больцман).

10. Для равновесия любой изолированной системы необходимо и достаточно, чтобы во всех возможных изменениях состояния системы, при которых не изменяется её энергия, изменение её энтропии было бы нулевым или отрицательным (Дж. Гиббс).

11. Состояние с максимальной энтропией - наиболее устойчивое состояние для изолированной системы (Э. Ферми). Строго говоря, такие утверждения есть следствие процедуры нормировки энтропии, то есть установления связи количества энергии с количеством элементов системы и с величиной её энтропии. Утверждение о том, что энтропия характеризует максимум вероятности состояния системы есть главное в формулировках свойств энтропии у Больцмана 9 и Гиббса 10. Больцман впервые вводит определение энтропии в форме, уточнённой Планком:

$$S = K \ln W, \quad (35)$$

где под знаком логарифма число возможных состояний системы. Гиббс нашёл для энтропии форму

$$S = -K \ln P, \quad (36)$$

где под знаком логарифма вероятности состояний системы. Это определение энтропии подразумевается и в формулировке Ферми. Разные знаки в этих формулах вызваны тем, что числа состояний больше единицы, а вероятности состояний - меньше единицы. Однако это не противоречит положительной определённости энтропии.

Первичную формулировку второго начала термодинамики у Карно можно представить в виде:

12. Максимальный к.п.д., теоретически возможный для тепловых машин, определяется лишь предельными температурами, между которыми работает машина, но не зависит от природы её рабочего тела (С. Карно). Эта формулировка означает, что рабочим телом при преобразовании тепла в работу является энтропия как мера информации, т.е. информация - физическая переменная. Наиболее фундаментальными в масштабе науки в целом среди формулировок второго начала термодинамики являются те утверждения, в которых свойства энтропии связывают со свойствами времени и Вселенной в целом.

13. Энтропия - стрелка, отмеряющая время (А. Эддингтон).

14. Энергия Вселенной постоянна; энтропия же стремится к максимуму (Р. Клаузиус).

15. В природе каждый физический или химический процесс происходит таким образом, чтобы увеличить сумму энтропий всех тел, участвующих в этом процессе. В пределе, то есть для обратимых процессов, эта сумма энтропий остаётся постоянной (М. Планк).

Эти формулировки второго начала термодинамики о связи энтропии с направлением времени и о роли энтропии в определении направления самопроизвольных процессов в наглядном виде трудно сопоставимы с экспериментами. Именно здесь возник пробел существующей аксиоматики термодинамики. Время необратимо. Определение необратимости времени явно, бесспорно (как это подчеркнул Эддингтон в 13) выражают свойства энтропии как физической переменной. Однако в общепринятом математическом аппарате оси пространственных координат и ось времени тождественны по своим свойствам относительно изменения направления отсчёта вдоль них. В той же мере, в какой невозможны «вечные двигатели», ось координат, математически описывающая время, должна быть отлична от других математических осей. В математике известна только одна система неравноправных осей координат - функции комплексного переменного. Для них неравноправие осей координат отражает мнимая единица. Время в таком фундаментальном виде в термодинамике не вводится. Но аксиоматически свойство необратимости времени отражает энтропия. Поэтому больцмановская процедура нормировки энтропии, устанавливающая количественно её свойства как характеристики максимума вероятности состояния системы приводит к необходимости использовать функции комплексного переменного.

Отдельно нужно остановиться на формулировке Клаузиуса 14. Именно она первично вводит понятие о «тепловой смерти Вселенной». Концепция «тепловой смерти» сейчас не упоминается серьёзными научными работниками. Однако альтернативы ей в современной науке нет. На вопрос - как и почему в природе может происходить развитие, преодолевающее «тупик равновесия» внятного ответа до сих пор нет.

Если понимать формулировки второго начала термодинамики как отображение разных свойств энтропии, то в таком смысле можно предложить ещё одну частную формулировку второго начала термодинамики.

16. Энтропия есть мера системы в фазовом пространстве, которая (по аналогии с увеличением размеров при расширении объёмов в трёхмерном пространстве), стремится к максимуму, совместимому с условиями, в которых находится система. (А. Хазен).

В дополнение к определениям энтропии на основе числа возможных состояний системы или вероятностей состояний, или с помощью интегрирующего множителя существует определение энтропии, использующее функцию распределения f . Его ввёл А. Эйнштейн:

$$S = f \ln(f)$$

Аналогичное определение на основе вероятностей состояний использовал в своих работах Шеннон.

Отметим, что исторически термодинамика возникла как наука об общих связях тепловых процессов с механикой. Однако в современной физике уже давно её роль намного шире. Привычное название - второе начало термодинамики - оказывается неоправданно узким.

Одна из современных попыток определения 2-го закона термодинамики выглядит так:

I. Существует иерархическая функция состояния системы - энтропия-информация, определённая в фазовом пространстве для заданных признаков и условий элементов системы, которую можно выразить в двух равноправных формах: $S = K(k) \ln P(k)$ или $S = -K(k) \ln W(k)$ - мера количества информации (мера фазового пространства) в пределах заданных признаков и условий для наиболее вероятного состояния системы из многих элементов, а множитель K - адиабатический инвариант данного иерархического уровня системы - единица измерения энтропии-информации с размерностью действия. Физическая система, не содержащая информации о себе самой, не может реализоваться.

II. Энтропия-информация есть характеристика максимума вероятности состояния системы, которая нормирована по отношению к энергии и к числу элементов системы, что определяет её как мнимую составляющую энтропии-информации в виде функции комплексного переменного. Энтропию-информацию порождает процесс синтеза информации - запоминание случайного выбора, в котором критерии запоминания (устойчивости) зависят от экстремумов энтропии-информации и её производства. В общем виде они заданы в комплексной плоскости. Вечное равновесие невозможно. Случай синтеза информации об адиабатических инвариантах системы описывает принцип максимума производства энтропии-информации (максимума способности к превращениям). Он определяет условия разрушения равновесия и перехода к следующей ступени иерархии роста энтропии-информации. Направление самопроизвольных процессов задают экстремумы комплексной энтропии-информации.

III. Энтропия-информация может суммироваться при разных входящих в её определение признаках и условиях, учитывая уравнения связи их между собой. Для любых, входящих в определение энтропии-информации признаков и условий, существует свой нуль отсчёта, который зависит от них. Энтропия-информация есть положительно определённая переменная, однако существование разных нулей отсчета разрешает в конкретных задачах использовать ее с отрицательным знаком. (А. Хазен).

IV. Существует функция состояния системы - энергия. Энергия может быть представлена как сумма разных её форм. Существует форма энергии - тепловая энергия (или в более общем виде - информационная энергия), которая выражается произведением температуры на энтропию. В его составе энтропия определена аксиомами I - III, а температура есть обратный масштаб измерения времени в замкнутой системе. Время в замкнутой системе и время как причина существования энергии являются разными переменными. Время в замкнутой системе обратимо. Время как источник энергии необратимо. Сохранение величины суммы форм энергии (закон сохранения энергии) есть следствие однородности времени. Энергия системы изменяется в результате взаимодействия системы с окружением. Идеализация в виде замкнутой системы в любой точке своей границы находится в статическом и динамическом равновесии с окружением. (А. Хазен).

Если рассматривать второе начало с точки зрения направленности движения молекул, то оно утверждает, что в замкнутой системе с течением времени любое одинаково направленное коллективное движение молекул в конечном итоге перейдет в хаотическое. А это уже сфера действия информации: информация управляет энергией, а потому вопросы превращения энергии и противодействия разрушающему действию второго начала термодинамики нельзя рассматривать без их информационного характера.

Покажем на примерах эту роль информации. Одним из важнейших принципов, вытекающих из второго начала термодинамики является принцип деградации энергии. При этом энергия подразделяется на энергию высокого качества - механическую и электрическую энергии, среднего качества - химическую энергию, и низкого качества - тепловую энергию. Такая классификация определяет способность энергии

производить работу, а это означает, что тепловая энергия по сравнению с остальными дает самый низкий коэффициент полезного действия.

Преобразование энергии в тепловой машине происходит за счет информации - специальной конфигурации, которая влечет за собой упорядоченное движение молекул газа (пара). А упорядоченное движение и является материальным источником работы. Чем выше упорядоченность движения молекул, т.е. чем большее количество молекул движется в одном направлении, тем выше КПД совершаемой ими работы. И, наоборот, в замкнутой системе работа не могла совершаться из-за хаотического движения молекул газа, хотя энергия системы это делать позволяла. Энергия механической системы имеет самый высокий КПД именно потому, что в механической системе все молекулы жестко связаны и в процессе выполнения работы движутся однонаправленно.

Все это означает, что для выполнения работы энергетические возможности должны сопровождаться возможностями информационными и всякий процесс совершения работы есть процесс информационного взаимодействия, в котором информация выступает в виде свойства управляющего направленною движения. Более того, мы можем утверждать, что качество энергии - понятие информационное и характеризует направленность группового движения молекул вещества, участвующих в выполнении работы. Энергия определяет количество работы, информация - качество в виде направленности движения. Но если второе начало термодинамики - это информационный закон, то как быть с формулой энтропии Больцмана-Планка, которая имеет размерность энергии? Прежде всего, отметим статистический характер выражения для энтропии Больцмана-Планка (S) (p - вероятность микросостояний системы или статистический вес; k - постоянная Больцмана), к которому вынужденно должен был прийти Больцман, понимая, что мы совершенно не в состоянии следить за движением отдельных молекул и атомов.

В термодинамике не существует и не может существовать такого понятия как траектория. Именно это заставило физиков в этой отрасли знаний перейти на такие усредненные показатели как температура, количество тепла, давление, исходя из человеческой практики. Но все проявления второго начала термодинамики носят лишь качественный характер. А качество не может быть измерено. Энергетическое измерение в экспериментах было вынужденным. Такое измерение стало возможным только потому, что всякое взаимодействие имеет две стороны - энергетическую и информационную, но информация от энергии не зависит в то время как энергетические возможности при взаимодействии определяются информацией. Информационное толкование второго начала термодинамики позволяет определить её связь с классической механикой, которая казалось навсегда утраченной из-за отсутствия в термодинамике понятия траектории: всякий процесс совершения работы есть процесс информационного взаимодействия, в котором информация выступает в виде направленности движения, выполняя управляющую роль.

Информационная трактовка второго начала утверждает:

В замкнутой системе любое однонаправленное коллективное движение составляющих эту систему элементов не может продолжаться сколь угодно долго и должно перейти в хаотическое движение

Однако поскольку сама информация не зависит от времени, то второе начало в общей теории информации связано с материальным свойством нематериальной информации, с носителем информации, с тем свойством, которое мы называли памятью. Поэтому более точная информационная трактовка второго начала:

«В природе нет памяти с бесконечным временем существования».

Одно из важнейших следствий второго начала термодинамики говорит о том, что не может существовать сколь угодно длительного прямолинейного движения.

Второе начало термодинамики - всеобщий закон природы, который распространяется на любую физическую систему, в том числе и на стационарные формы существования материи. Ведь стационарная форма существования материи - результат информационного взаимодействия. Направленное движение материальной точки, единичного объекта - это простейший вид существования информации, но он является основой возникновения любой другой формы материального мира.

Еще в XVIII веке П. Мопертюи сформулировал принцип, который называется сегодня принципом наименьшего действия Мопертюи-Лагранжа. П. Мопертюи сформулировал его так: «Природа, производя действия, всегда пользуется наиболее простыми средствами», «количество действия всегда является наименьшим». В термодинамике сформулирован другой принцип - принцип наименьшего рассеяния энергии. Он обоснован в теореме Онсагера - одной из основных теорем термодинамики неравновесных процессов, установленной американским физиком в Л. Онсагером. На основании теоремы Онсагера Пригожиным в 1947 доказана ещё одна теорема термодинамики неравновесных процессов, согласно которой при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарному (неизменному по времени) состоянию системы соответствует минимум производства

энтропии. Если таких препятствий нет, то производство энтропии достигает своего абсолютного минимума - нуля. К этому ряду принципов можно отнести также принцип наименьшего принуждения Гаусса, принцип наименьшей кривизны Герца и ряд других принципов физики.

Формирование и движения потока, перемещение материальной точки в потенциальном поле, действие сил, определяющих направленное движение, - всё это говорит о том, что следует рассматривать именно информационную сторону взаимодействия материи. Ведь именно информация управляет и направленностью движения вещества и энергии. Общая теория информации утверждает: существует информационная сторона взаимодействия материи, определяющая направленность движения, и естественным критерием выбора направленности движения является минимум диссипации энергии.

Рассмотрим контактное информационное взаимодействие. В упрощенном виде его можно было бы представить как взаимодействие по методу «ключ-замок». Если конфигурация ключа не соответствует конфигурации внутреннего устройства замка, никакие усилия не помогут замок открыть. Химические реакции в присутствии катализатора или биологические реакции в присутствии ферментов – это тоже пример контактного информационного взаимодействия. Но в этом случае во взаимодействии участвует и вторичная информация взаимодействующих элементов. Участие вторичной информации в таких взаимодействиях наглядно проявляется в физическом взаимодействии, носящем название пристеночного эффекта, который возникает при движении вязкой жидкости со взвешенными частицами, например, крови в сосудах. Такая суспензия обладает замечательным свойством: в узкой зоне около стенок трубы взвешенные частицы отсутствуют, они «знают о присутствии трубы»

Если из атома любого вещества удалить электрон, образуется положительный ион. В нём количество электронов на единицу меньше, чем зарядовое число ядра. Каждый оставшийся электрон в ионе находится в определенном состоянии, и все они подчиняются принципу Паули, по которому не должно быть двух электронов, состояние которых характеризуется одинаковым значением четырех квантовых чисел. Если указанный ион присоединит к себе какой-то оказавшийся по близости электрон, то тот никогда не нарушит принципа Паули, никогда и ни при каких условиях не примет состояния, уже занятого другими электронами. Как он «узнает» о состоянии остальных электронов? Благодаря «получаемой» информации по методу «ключ—замок», только, конечно же, не в буквальном его понимании. Принцип Паули - это принцип информационного взаимодействия в микромире, пространственное ограничение в процессе движения, благодаря действию пространственных сил. Не может быть двух электронов, состояние которых характеризуется одинаковым значением четырех квантовых чисел.

Принцип минимума диссипации энергии – универсальный закон информационного взаимодействия, объясняемый только с позиций общей теории информации.

На базе второго начала термодинамики, понятий энтропия и информации возникли многочисленные парадоксы, адекватно разрешить которые невозможно ни в рамках классической физики, ни в рамках квантовой механики. В данной лекции мы рассмотрим некоторые из них.

1. ПАРАДОКС ГИББСА

Парадокс перемешивания (парадокс Гиббса) впервые был сформулирован американским физиком и математиком Джозайя Уиллардом Гиббсом в его статье «О равновесии гетерогенных систем» (1876 – 1879). Он обыгрывает парадоксальную природу энтропии смешивания.

Возьмем теплоизолированный ящик и поделим его тонкой подвижной перегородкой пополам. Предположим, что в одной половине ящика находится идеальный газ A , а в другой половине - идеальный газ B при той же температуре и давлении. Если удалить перегородку, то газы начнут смешиваться, и энтропия системы возрастёт вследствие необратимой диффузии газов. Энтропия смешивания, умноженная на температуру, равна работе, которая нужна для того, чтобы восстановить исходное состояние данной термодинамической системы: в одной половине ящика - идеальный газ A , а в другой половине - идеальный газ B . Если же в обеих половинах ящика находится один и тот же газ (газ A или газ B), то такая работа становится попросту не нужна, и энтропия смешивания газа после удаления перегородки равна нулю. В то же время, если задать даже небольшое различие между газом в разных половинах ящика (например, поляризовав спины его молекул - в разных половинах ящика в разном направлении), то энтропия его смешивания (после удаления перегородки) скачком возрастает на ненулевую величину - такую же, как если бы эти газы состояли из разных молекул. С точки зрения классической термодинамики такое поведение энтропии парадоксально, поскольку при малом изменении параметров газов их энтропия также должна изменяться на малую величину.

В классической термодинамике изменение энтропии определяется как количество теплоты, переданное телу в изотермическом процессе (при постоянной температуре), отнесённое к температуре тела:

$$\Delta S = \Delta Q / T \quad (1)$$

В случае, когда совершаемая над телом работа полностью превращается в теплоту (например, при работе сил трения), изменение энтропии, умноженное на изменение температуры тела, равно совершаемой над телом работе:

$$\Delta S \Delta T = A = F_{\text{тр}} s \quad (2)$$

Именно этот случай подходит для описания работы, которая нужна для того, чтобы восстановить исходное состояние смешанных газов в парадоксе Гиббса. (Если быстро отводить от тела теплоту, образующуюся при трении, и поддерживать у него постоянную температуру, то ΔT в приведенной формуле можно заменить на T). Однако здесь есть один нюанс. Дело в том, что в классической термодинамике энтропия определяется еще и как функция от термодинамической вероятности состояния системы:

$$S = k \ln P, \quad (3)$$

где S — энтропия системы, k — постоянная Больцмана, а P — термодинамическая вероятность состояния.

В этой формуле совершаемая в системе работа и передаваемая ей теплота не фигурируют, что полностью соответствует случаю, когда при постоянном давлении и температуре смешиваются два объема одного и того же газа. Перемешивание молекул газа происходит и в этом случае, но работа такого перемешивания равна нулю, поэтому считается, что и энтропия этого перемешивания также равна нулю. Парадокс в том, что работа смешивания (при постоянном давлении и температуре) разных газов также равна нулю, хотя энтропия такого смешивания не равна нулю. Решение этого «парадокса» в том, что ненулевой энтропия здесь является только в смысле второго определения энтропии и является нулевой в смысле первого определения. То есть два эти определения энтропии не эквивалентны!

Сам Гиббс считал, что энтропия смешивания действительно может изменяться скачкообразно (то есть быть прерывной). При этом он специально оговаривал, что поведение такой энтропии полностью зависит от того, можем или не можем мы установить различие между смешиваемыми газами. К примеру, если мы смешиваем газы A и B , но не способны установить, что они разные, то это не создаст у нас никаких теоретических проблем, поскольку количество теплоты в системе при этом не изменяется. Энтропия такого смешивания будет равна нулю, не смотря на то, что газы разные (!). Но как только мы становимся способны различать эти газы, то энтропия смешивания скачком становится ненулевой, хотя количество теплоты при смешивании этих газов по-прежнему не изменяется. Однако такое решение парадокса перемешивания вряд ли можно считать удовлетворительным.

Более приемлемое решение данного парадокса предложил немецкий математик Джон фон Нейман, показавший, что энтропия смешивания газов в действительности изменяется непрерывно. Суть его решения сводится к следующему.

Предположим, что в каждой из половин нашего ящика находятся различные смеси газов A и B , отличающиеся друг от друга только относительными концентрациями. С термодинамической точки зрения такие смеси являются различными по своим свойствам газами. Ясно, что степень различия их зависит только от относительных концентраций их компонентов и может изменяться непрерывно. Максимальное различие соответствует случаю, когда в одной половине ящика находится газ A , а в другой половине - газ B , отсутствие различия - когда в обеих половинах ящика находятся смеси с равными концентрациями компонентов. В общем случае удаление перегородки приводит к дополнительному перемешиванию газов и увеличению энтропии, но при этом последняя изменяется непрерывно при непрерывном изменении концентраций компонентов газов. В парадоксе перемешивания она изменяется скачкообразно потому, что мы рассматриваем только такие газы, которые не могут непрерывным образом переходить друг в друга.

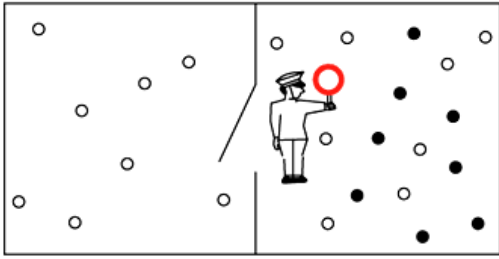
Отметим, что в данном парадоксе перепутываются два вида изменения энтропии - изменение в результате замены разных частиц газа одинаковыми частицами и изменение в результате смешивания двух частей газа в сосуде. Парадоксальность первого изменения связана с тем, что понятие энтропии, полученное в рамках классической статистики, не является аддитивным. (Поэтому данный парадокс остается парадоксом даже в том случае, если мы вообще не пользуемся перегородкой и рассматриваем уже перемешанный газ). Парадоксальность же второго изменения иллюзорна - она объясняется неправильным выбором исходных условий модельного опыта. Одно из решений этого «парадокса» описано выше - его дал Нейман; ещё одно решение заключается в следующем.

Для начала отметим, что в исходном состоянии система ящика не является симметричной - с одной стороны его находится газ A , а с другой стороны - газ B . Поэтому после удаления перегородки возникает макроскопически различимый перенос газов в другую половину ящика, что и соответствует ненулевому изменению энтропии при смешивании данных газов. В случае одинаковых газов такой перенос уже не имеет места, поскольку положение их симметрично, хотя перемешивание молекул газов при этом происходит совершенно аналогичным образом. Но как только мы метим каким-нибудь образом эти молекулы (например, поляризуя их спины, как уже говорилось выше), то скачкообразно возникает тот же макроскопически различимый перенос газов. А теперь представим, что мы разделили наш ящик перегородками на множество микроскопических ящичков так, чтобы в каждом ящичке находилась только одна молекула газа A или B . Ящички с одинаковыми молекулами сообщаются друг с другом, а ящички с разными молекулами — не сообщаются. (Это можно представить себе в виде двух переплетённых пространственных решеток: прутья решеток соответствуют расположенным в линию ящичкам, а узлы решеток — развилкам, через которые ящички сообщаются друг с другом). В состоянии равновесия молекулы обоих газов будут равномерно распределены по ящичкам. Если теперь каким-нибудь образом мгновенно удалить решетки, то газы начнут свободно перемешиваться, но энтропия такого перемешивания будет равна нулю (не смотря на то, что перемешиваться будут разные газы!), в силу их исходного симметричного (разделённого!) положения.

Понятие максимальной энтропии подразумевает максимально хаотичное, а значит и максимально симметричное состояние системы. Все спонтанные процессы в природе идут в направлении увеличения энтропии. Поэтому если мы не хотим, чтобы в результате каких-то процессов энтропия системы увеличивалась, то заранее должны позаботиться о симметричности ее состояния. В парадоксе перемешивания это условие не было выполнено, почему и возникло недоразумение со скачком энтропии при переходе от смешивания разных газов к смешиванию одинаковых газов.

2. ДЕМОН МАКСВЕЛЛА

Смысл парадокса Максвелла заключается в следующем (**Рис. 1**). Изолированная система, состоящая из разделенного на две части резервуара с газом и с дверцей в перегородке (диаметр отверстия примерно соответствует размеру молекулы), содержит также «демона» (существо или автомат), наделённого способностью отличать быстрые (горячие) молекулы от медленных (холодных). Демон открывает дверцу только в том случае, если к ней справа подлетает быстрая молекула. Поэтому газ в левой части резервуара будет нагреваться, а в правой - остывать. Таким образом, в изолированной системе тепло будет переходить от холодного тела к горячему с понижением энтропии системы (увеличение упорядоченности системы) в противоречии со вторым законом термодинамики. Мало того, разницу температур можно будет



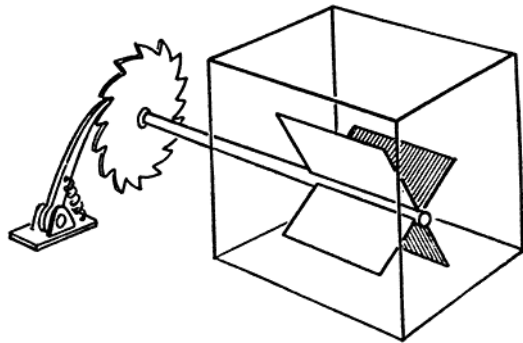
использовать для получения работы. Если такого вахтера оставить на дежурстве навечно, мы получим вечный двигатель.

Рис. 1. Демон Максвелла.

После формулировки второго начала термодинамики в виде «невозможности произвести неравенство температур или давлений без затраты работы» Максвелл пишет: «Но если мы представим себе существо со столь утонченными способностями, чтобы оно могло проследить за движением каждой молекулы, то такое существо, обладая всё ещё конечными свойствами, было бы в состоянии сделать то, что невозможно для нас. Мы видели, что молекулы в сосуде, наполненном воздухом одинаковой температуры, движутся с неодинаковыми скоростями, хотя средняя скорость большого числа случайно выбранных молекул имеет совершенно точно постоянную величину. Предположим, что такой сосуд разделен на две части, *A* и *B*, перегородкой с небольшим отверстием; пусть существо, которое может видеть отдельные молекулы, закрывает и открывает это отверстие так, чтобы допускать переход быстрее движущихся молекул только из *A* в *B*, а медленно движущихся — только из *B* в *A*. Таким образом, существо может, не затрачивая работы, повысить температуру *B* и понизить температуру *A*, вопреки второму началу термодинамики. Это есть лишь один из примеров, показывающих, что наши заключения, выведенные из опытов над телами, состоящими из несметного числа молекул, могут оказаться неприменимыми к более тонким наблюдениям и опытам, реализуемым при условии, что имелась бы возможность различать и направлять отдельные молекулы, с которыми мы обычно имеем дело только в больших количествах».

Замечание. Максвелл говорит о «существе» (being), термин «демон» ввёл В. Томсон (Кельвин).

Модель имеет две особенности. С одной стороны, здесь подчеркивается, что используются флуктуации (скоростей) и объектами упорядочения являются отдельные молекулы: в результате большого числа микроуправлений накапливается макроскопический эффект. С другой стороны, здесь описан процесс,



в котором по измеренным значениям одного параметра (скорости) производится управление другой физической величиной (положением клапана, закрывающего или открывающего отверстие), что приводит к упорядочению в системе — негэнтропийному эффекту. Поэтому данная модель является примером модели процесса управления.

Вначале учёные обращали внимание лишь на первую из отмеченных особенностей: предлагали различные варианты модификаций описанного Максвеллом вечного двигателя второго рода, существенно использующие флуктуационные явления. Смолуховский (1912) обратил внимание на то, что броуновское движение самого клапана существенно препятствует работе демона Максвелла и подобных автоматических устройств. В частности, рассматривается односторонне действующий клапан и щеколда для зубчатого колеса (храповик и собачка по Фейнману) и на основании правдоподобных рассуждений делается вывод о невозможности создания машины, работающей длительное время за счет использования и упорядочения флуктуации — именно вследствие броуновского движения самого управляющего элемента. (Строгое доказательство может быть проведено лишь с помощью статистической механики). Смолуховский (1936) впервые чётко отметил ограничивающую роль флуктуации (теплого движения молекул — шума) как для измерения, так и для собственно управления. Отсюда следует необходимость энергетических затрат на этих обоих этапах, обязательно присущих системе управления.

Представим миниатюрную ветряную мельницу молекулярных размеров. Молекулы беспорядочно бомбардируют лопасти пропеллера, и колесо поворачивается то в одну то в другую сторону. Но на другом конце оси имеется храповик с собачкой, который позволяет колесу поворачиваться только в одну сторону. В результате получаем броуновский мотор, который как бы выпрямляет броуновское движение и вращается только в одну сторону. Фейнман показал, что при тепловом равновесии такое устройство не будет работать, как этого и требует второй закон термодинамики. Дело в том, что миниатюрная пружина, которая прижимает собачку, тоже дергается беспорядочно из-за тепловых флуктуаций и храповик не может в совершенстве выполнять свою выпрямительную роль.

В большинстве последующих работ, посвященных обсуждаемой модели, основное внимание было сосредоточено лишь на первом этапе процесса управления — этапе получения информации.



энтропии за счет рассеяния энергии при получении информации и управлении), то из всех упомянутых работ следует, что

$$\eta = \frac{N}{S^{(+)}} < 1, \quad (4)$$



Любой процесс в замкнутой системе завершается переходом системы в состояние с большей степенью беспорядка

Энтропия - мера беспорядка физической системы

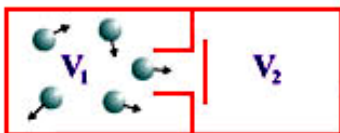
$$S = k \ln W$$

$$\Delta S > 0$$

"Демон" Максвелла - гипотетическое устройство, приводящее к возникновению градиента температуры без совершения внешней работы

Задание

Объясните почему невозможна работа устройства, пропускающего в объем V_2 только быстрые молекулы



мере, равную её понижению за счет полученной информации.

Парадокс, таким образом, разрешается, если рассмотреть замкнутую систему, включающую в себя демона Максвелла и сосуд. Для функционирования демона Максвелла также необходима энергия, т.е. передача ему энергии от внешнего источника. За счет этой энергии и производится разделение горячих и холодных молекул в сосуде, то есть переход в состояние с меньшей энтропией.

Пусть задано макроскопическое состояние некоторой системы, то есть с определенной степенью точности указаны значения таких параметров, как объём, давление, температура, химический состав и т.п. Каждому макросостоянию системы соответствует набор микросостояний. В микросостоянии точно заданы состояния всех частиц, входящих в систему. Для любой макросистемы при температуре выше абсолютного нуля число микросостояний W , соответствующих данному макросостоянию, огромно. W называется статистическим весом или термодинамической вероятностью данного макросостояния. Согласно основному постулату статистической физики, все W микросостояний, соответствующие одному

Как уже упоминалось в предыдущей лекции, Л. Сциллард в 1929 впервые указал на связь энтропии и информации (и, по существу, использовал количественную меру её, соответствующую предложенной впоследствии Шенноном). Он показал, что для любого упорядочения молекул следует получить информацию об их координатах (или скоростях), т. е. произвести измерение. Получение информации связано с ростом энтропии в системе, не меньшим, чем её уменьшение за счет упорядочения молекул.

В дальнейшем решение парадокса Максвелла было предложено Л. Бриллюеном (1960). Он пытался оценить энергетические затраты на этапе измерения в различных модификациях модели демона Максвелла (в том числе и для «демона давления», а не температурного) и сравнению этих затрат с полезным эффектом. Если определить энтропийную эффективность η процесса как отношение негэнтропийного эффекта $\Delta N = S^{(-)}$ (понижение энтропии системы как мера ее упорядочения) к энтропийным затратам $\Delta N = S^{(+)}$ (повышение

причём затраты на собственно управление, как правило, не учитываются. Этот результат как раз и означает «изгнание демона», так как показывает, что второе начало термодинамики не нарушается).

Итак, демон бесплатно ничего не делает (так уж устроен наш мир). Для фиксации скорости молекулы, т.е. получению информации, демону нужно заплатить энергией, не меньшей, чем энергия теплового кванта kT (при комнатной температуре $T=300\text{K}$, $kT= 0,025$ эВ). Энергия $kT/1,44$ - минимальная цена одного бита микроинформации (1,44 - коэффициент перехода от натуральных логарифмов к двоичным). Демон совершает работу и как раз такую, которая необходима для охлаждения одного тела и нагревания другого. При этом демон получает информацию равную уменьшению энтропии. Так возникло утверждение: «информация есть негэнтропия».

Смысл решений различных авторов заключается в следующем: информацию нельзя получать бесплатно. За неё приходится платить энергией, в результате чего энтропия системы повышается на величину, по крайней

макросостоянию, имеют одинаковую априорную вероятность. Знать микросостояние системы - значит знать о системе все! Величина W непосредственно связана с энтропией. По формуле Планка-Больцмана

$$S = k \ln W, \quad (5)$$

где размерная постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град или $3,31 \cdot 10^{-24}$ эе (эе - энтропийная единица, 1 эе = 1 кал/град).

Рассчитаем, какое количество информации надо получить о системе, находящейся в данном макросостоянии, чтобы однозначно определить её микросостояние. Иначе говоря, какого количества информации недостает для полного описания системы в заданном макросостоянии?

Пусть микросостояние определено путем измерений или расчетов (на самом деле сделать это нельзя). До определения вероятность того, что макроскопическая система находилась именно в этом микросостоянии, была равна $1/W$, а после определения стала равной единице. Полученное количество информации

$$I = -\log_2 \frac{1}{W} = \log_2 W \quad (6)$$

Формулы (3) и (4) совпадают с точностью до постоянного размерного множителя. Величины I и S существенно идентичны. Ситуация здесь та же, что и для соотношения между массой и энергией: $E = mc^2$, где роль размерного множителя играет c^2 . Аналогична ситуация и в случае соотношения между частотой и энергией кванта света, где размерным множителем является постоянная Планка: $E = \hbar \omega$. Энтропия системы

в данном макросостоянии есть количество информации, недостающее до её полного описания. Чтобы перейти от количества информации в битах к энтропии в энтропийных единицах, необходимо перейти от логарифма при основании 2 к натуральному логарифму и умножить на k : $S(\text{эе}) = 2.3 \cdot 10^{-24} / \text{бит}$.



3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ БИЛЬЯРДЫ

В термодинамике (как классической, так и неравновесной) можно выделить два направления: динамическое движение – идеологом которого был А. Пуанкаре и стохастическое представленное Л. Больцманом с его понятием энтропии как меры хаоса, беспорядка.

При расследовании противоречия между теоремой возврата Пуанкаре, гарантирующей, что система взаимодействующих молекул (шаров) обязательно вернётся в какое-то конкретное состояние, в котором она уже однажды находилась (т.е. энтропия ни при каких раскладах возрасти не может), и трактовкой Больцманом 2-го закона термодинамики, которая утверждает, что хаотическое расположение молекул в замкнутой системе может только увеличиваться (т.е. энтропия обязательно возрастает) и, следовательно, система молекул никогда не вернётся в своё прежнее состояние, широкое распространение получили модели бильярда Больцмана (соударение шаров с плоской поверхностью) и бильярд Синая (соударение шаров с выпуклой поверхностью) и др. Именно на этих математических бильярдах решается вопрос обратимо ли время, или нет.

Математический бильярд – механическая система, состоящая из горизонтального бильярдного стола (без луз – французский бильярд), и движущегося без трения точечного шара, абсолютно упруго отражающегося от бортов. Точечный шар находится в бильярдной области Q , ограниченной бортом Γ (границей области Q). Траектория бильярда в области Q определяется начальным положением точки q и начальным вектором её скорости v . Математическая проблема бильярда – поиск траектории шарика. Шар в бильярде – один. Направление вектора $v(t)$, т.е. направление движения шара, меняется только при его ударе о борт. Траектория бильярда – это вписанная в кривую Γ ломаная, которая может быть однозначно построена по своему начальному звену.

Бильярд - динамическая система, порожденная движением с единичной скоростью точечной частицы внутри Q с упругими отражениями от границы dQ .

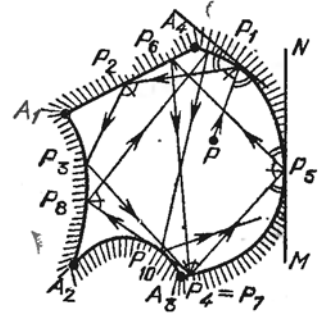
Первым сильную неустойчивость систем с упругими столкновениями отметил Н.С.Крылов. Бильярдные системы общего типа, характеризующиеся свойством экспоненциальной неустойчивости траектории («бильярды Синая»), введены и изучены Я.Г.Синаем.

Бильярдом называют динамическую систему, порожденную свободным движением материальной точки внутри ограниченной области (сосуда) с упругими отражениями от стенок. Бильярды служат удобными моделями в ряде областей классической физики. В последнее время они используются также при исследовании квантового хаоса. Если стенки сосуда вогнуты внутрь, то бильярд называется *рассеивающим*.

Если же вогнутость нестрогая, т. е. допускаются уплощения, то бильярд *полурассеивающий*. К рассеивающим и полурассеивающим бильярдам сводятся известные в статистической физике модели твердых сфер, газы Лоренца и Рэлея. Эти бильярды обладают сильными стохастическими свойствами и по своей структуре схожи с геодезическими потоками на поверхностях отрицательной кривизны. А именно, они характеризуются экспоненциальной неустойчивостью траекторий. В ряде случаев для них доказана эргодичность, перемешивание, К-свойство и В-свойство. Близкими к ним являются бильярды Бунимовича. По аналогии с геодезическими потоками мы будем называть все эти бильярды *гиперболическими*. Важной характеристикой динамической системы, отражающей скорость расходимости ее траекторий, является метрическая (колмогоровская) энтропия, введенная в 1958 Методы вычисления энтропии интенсивно развивались в 60-х и 70-х годах. В 1970 Я. Г. Синай получил формулу для энтропии двумерного рассеивающего бильярда, а в 1978 он же обобщил её на многомерные полурассеивающие бильярды.

Для понимания дальнейшего текста введём понятия конфигурационного и фазового пространства.

Конфигурационное пространство – пространство конфигураций, т.е. возможных положений заданных объектов. При движении конфигурационной точки x возникает её траектория $x(t)$, называемая конфигурационной траекторией или орбитой. Рассмотрим движение некоторой системы объектов – частиц, тел и т.п. Добавим к пространству конфигураций $\{x\}$ этих объектов пространство их скоростей $\{v\}$ (векторов), т.е. будем рассматривать всевозможные пары $\{(x,v)\}$. Полученное множество $(x - \text{положение}, v - \text{скорость})$ называется **фазовым пространством системы**, а изображающая систему точка – фазовой точкой системой. Иными словами, фазовым пространством называется множество всевозможных движений системы.



Общая математическая проблема бильярда Больцмана заключается в том, чтобы описать возможные типы бильярдных траекторий в данной области Q . Простейший принцип такого описания – разделение траекторий на периодические, или замкнутые (процессы обратимы, выполняется теорема Пуанкаре), и остальные – непериодические (энтропия растёт, информация падает, справедлива гипотеза Больцмана). Траектория с начальным условием (q,v) будет периодической, если через некоторое время (период) точка возвращается в своё начальное положение q с первоначальной скоростью v . Проблема в отношении периодических траекторий сводится к вопросу: в любой ли области Q существуют периодические (замкнутые) траектории? Другой вопрос – как по начальным условиям (q,v) узнать, будет ли соответствующая траектория периодической?

Как мы уже упоминали в прошлых лекциях, в классической физике существует так называемая теорема о возвратах Пуанкаре. Смысл её можно проиллюстрировать следующим примером. Представим себе бильярдный стол, на котором сложилась какая-нибудь конкретная ситуация: например, разбивающий шар приближается к пирамиде. По прошествии времени – предполагается, что потери энергии отсутствуют, – мы увидим, что движение шаров настолько запуталось, что кажется совершенно случайным. Однако, как показал Пуанкаре, это – не так. Если ждать достаточно долго, то мы увидим, что, как будто из ничего, на столе вновь возникает первоначальная ситуация. И так будет продолжаться бесконечное число раз.

В механике обратимость во времени означает следующее. Пусть тело (например, шар) в начальный момент ($t=0$) имеет координаты x_0 и скорость v_0 и далее движется в соответствии с законами механики. Если в момент времени t_1 изменить знак скорости, то по прошествии того же времени t_1 тело вернётся в точку x_0 и будет иметь скорость, равную $-v_0$ (далее такой процесс будем называть обратимым). Этот результат связан с инвариантностью уравнений по отношению к инверсии времени. Это же свойство обеспечивает сохранение энергии в классической механике. Если такую процедуру провести со всеми шарами бильярда Больцмана, то все они вернуться на исходные места (хотя и будут иметь противоположные скорости). В частности, если вначале ($t=0$) все шары были сконцентрированы в малой части доступного пространства, то после описанной процедуры они должны собраться там же. Этот результат означает, что энтропии начального и конечного состояний должны быть одинаковы и, следовательно, энтропия в динамических процессах не может возрастать (теорема возврата Пуанкаре-Цермелло).

С другой стороны известно, что молекулы газа ведут себя иначе, чем шары в бильярде, и никогда не собираются обратно. При расширении газа энтропия возрастает и не может затем уменьшиться, даже если изменить знаки скоростей. Получается, что к соударениям бильярдных шаров уравнения движения механики применимы, а к соударению молекул – нет!

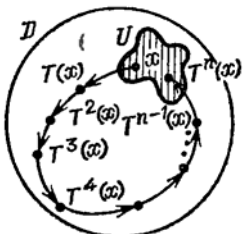


Рис. 2

Теорема Пуанкаре о возвращении формулируется следующим образом.

Пусть T – сохраняющее объёмы взаимно однозначное преобразование пространства, переводящее ограниченную область D пространства в себя: $T(D)=D$. Тогда в любой сколь угодно малой окрестности U внутри D найдётся точка x , которая после нескольких применений к ней преобразования T снова возвращается в область U : точка $T^n(x)$ принадлежит области U при некотором $n>0$ (**Рис.3**). Более того, почти все точки области U возвращаются снова в U – объём невозвращающихся точек в U равен нулю. Усилением теоремы Пуанкаре служит утверждение, что почти все точки области U возвращаются в U бесконечно число раз.

Теорема Пуанкаре предсказывает также возвращение в окрестность исходного положения шарика, движущегося без трения в несимметричной чашке (**Рис.3**).

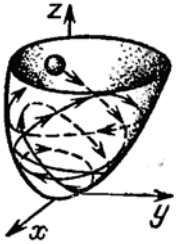


Рис. 3

Напомним, что процесс называется детерминированным, если весь его будущий ход и всё его прошлое однозначно определяется состоянием в настоящий момент. Такими процессами являются, например, процессы радиоактивного распада и размножения бактерий. Бывают и недетерминированные процессы: таково движение частиц в квантовой механике (ни прошлое, ни будущее не определены настоящим однозначно) или же распространение тепла (будущее определено настоящим, а прошлое – нет). Классическая механика рассматривает движение систем, будущее и прошлое которых однозначно определяется начальными положениями и начальными скоростями всех точек системы, т.е. рассматривает детерминированные процессы.

Проиллюстрируем сказанное на примере расширения газа.

Возьмём два сосуда, один (А), наполненный газом, другой (В) пустой. Что произойдёт, если эти соединить трубкой и открыть клапан соединительной трубки? В соответствии со вторым началом термодинамики газ устремится из сосуда А в сосуд В и будет перетекать из А в В, пока давление в обоих сосудах не равняется. Однако мы сейчас рассмотрим эту же ситуацию совершенно с другой точки зрения, при этом привлечём теорему Пуанкаре о возвращении и получим совершенно неожиданный результат!

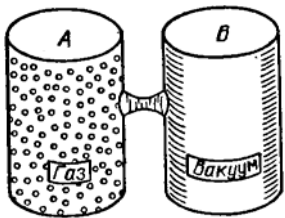


Рис. 4.

В статистической механике считается, что газ в сосуде состоит из большого числа молекул, взаимодействующих по законам классической механики. Такой газ является замкнутой (гамильтоновой) системой с большим числом степеней свободы, и поэтому фазовое пространство этой системы имеет очень большую размерность (как известно, в кубическом сантиметре при нормальных условиях содержится примерно 10^{23} молекул). Фазовый поток, определяемый уравнениями движения молекул газа по теореме Лиувилля не меняет объёмов областей фазового пространства. А тогда применима теорема Пуанкаре: фазовая точка подходит с течением времени сколь угодно близок своему начальному состоянию, такому, при котором все молекулы газа перейдут опять в сосуд А (**Рис. 4**). Итак, через некоторое время газ снова соберётся в сосуде А, а в сосуде В вновь будет вакуум. Возникает явное противоречие со вторым началом термодинамики: из него следует, что газ соберётся снова в сосуде А с вероятностью 0, а теорема Пуанкаре утверждает, что – с вероятностью 1!

Это противоречие носит название парадокса Цермелло, по имени математика, придумавшего его в связи с дискуссией между физиками по обоснованию термодинамики с позиций молекулярно-кинетической теории. Разгадка парадокса состоит в том, что «некоторое время», через которое повторится исходное (вернее, почти исходное) положение молекул газа, больше времени существования Солнечной системы.

Указанную разгадку наглядно интерпретировали в 1907 известные физики Пауль и Татьяна Эренфесты на простой и красивой вероятностной модели.

Эренфест Пауль (18. 1. 1880, Вена, - 25. 9. 1933, Амстердам), нидерландский физик-теоретик. Ученик Л.Больцмана. Окончил Венский университет (1904), затем вместе с женой - русским физиком Т. А. Афанасьевой-Эренфест переехал в Россию. С 1912 профессор Лейденского университета (Нидерланды). Основные труды по обоснованию статистической механики, квантовой теории, теории относительности, теории фазовых переходов. Разработал метод адиабатических инвариантов в квантовой теории (1916). Сформулировал (1927) теорему о средних значениях квантово-механических величин (теорема Эренфеста). Вывел (1933) соотношения Эренфеста. Автор парадокса

Эренфеста мысленного эксперимента, рассматривающего диск, вращающегося с околосветовой скоростью. Парадокс демонстрирует несовместимость некоторых понятий классической механики со специальной теорией относительности, а также возможность различного определения понятий времени и расстояния во вращающихся системах отсчёта. Последние годы жизни Эренфеста были омрачены тяжелыми сомнениями в собственных силах, в своей способности внести вклад в науку и соответствовать занимаемой должности. Эта ситуация усугублялась семейными проблемами, жизнь стала для него тяжёлым бременем. Эренфест как верный последователь своего учителя покончил с собой. *(Есть, что-то в этой статистической физике, что склоняет к самоубийству).*

Сосуд А содержит большое количество пронумерованных шаров («молекул газа»), а сосуд В пуст. Из Третьего сосуда, наполненного пронумерованными билетами, вынимается наугад один (скажем 17-й), и тогда шар, отмеченный этим номером, перекладывается из А в В. Билетик возвращается обратно и возобновляется вынимание билетиков и перекладывание шаров из сосуда в сосуд. Каждый раз, вынимая наугад какой-то номер от 1 до N (N – общее первоначальное число шаров в сосуде А), шар с этим номером перекладывают из того сосуда, в котором он находится в этот момент, в другой (Рис. 5).

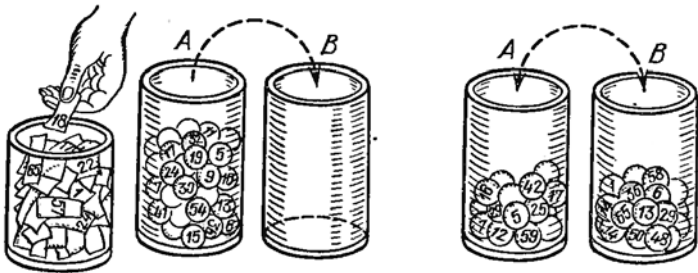


Рис. 5

Интуиция подсказывает нам, что до тех пор, пока в сосуде А шаров намного больше, чем в сосуде В, вероятность того, что мы выберем номер, принадлежащий к шару из сосуда А, будет заметно больше вероятности того, что мы вынем номер, принадлежащий шару из сосуда В. Таким образом,

вначале будет наблюдаться сильный «переток» шаров из сосуда А в сосуд В. Продолжая вынимать билетики, мы заметим, что вероятность вытягивания номера шара из сосуда А будет меняться в зависимости от предыдущих выниманий билетиков. (Эта форма зависимости вероятности от предыдущих событий носит название цепи Маркова, и в модели, которую мы рассматриваем, все имеющие к этому отношение факты могут быть строго и точно выведены). Оказывается, что в среднем число шаров в сосуде А будет в действительности убывать с той скоростью, с которой и предсказывает термодинамическая теория, пока примерно половина шаров не окажется в сосуде В. Но вычисления показывают также, что если игру продолжать достаточно долго, то с вероятностью 1 все шары попадут назад в сосуд А, как и утверждает теорема Пуанкаре!

Сколько же выниманий в среднем требуется, чтобы вернуться к этому исходному положению? Ответ гласит – 2^N , а это исключительно большое число, даже если количество шаров N не превосходит 100. Этим и объясняется, почему наблюдения, которые мы производим, дают нам движение шаров только в одном направлении без каких-либо осцилляций – мы слишком недолго ждали!

Для экспериментальной проверки теоретических подсчётов игру Эренфестов провели на ЭВМ. Начали с 16384 шаров в сосуде А, и каждый «прогон» состоял из 200000 выниманий. Была вычерчена кривая, дающая число шаров в сосуде А по результатам каждой тысячи выниманий

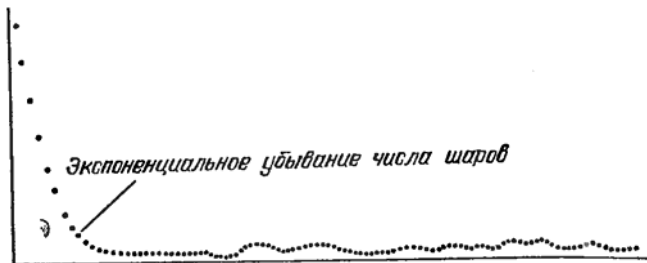


Рис. 6

(Рис. 6). Как и ожидалось, убывание числа шаров в сосуде А сначала происходило по экспоненциальной кривой. Но, начиная со значения, близкого к положению равновесия (т.е. к 8192 – половине общего числа шаров), кривая стала неровной, произвольно отклоняясь то вверх, то вниз.

Прокомментируем парадокс Цермело ещё и с бильярдных позиций. Рассмотрим для этого для этого прямоугольный бильярдный стол без луз, на котором находятся 16 бильярдных шаров. Предположим, что эти шары, как и молекулы газа в сосуде, движутся без трения по поверхности бильярдного стола, сталкиваясь упруго друг с другом и с его бортом. Мысленно разделим весь стол на две равной части – левую (А) и правую (В). Введём понятие состояний. Бильярд находится в состоянии 0, если в пределах левой половины нет ни одного шара: в состоянии 1, если в пределах левой половины находится 1 шар: в состоянии 2, если в пределах левой половины находятся 2 шара, и т.д.: в состоянии 16, если в половине А собрались все 16 шаров.

Заметим теперь, что состояния 0 и 16 могут быть реализованы единственным способом: когда все шары находятся справа или когда все они находятся слева. Состояния 1 и 15 могут быть реализованы 16-ю

различными способами: первый шар находится слева, остальные – справа; второй шар находится слева, остальные – справа и т.д. Для подсчёта числа способов, которыми могут быть реализованы состояния 2 и 14, будем рассуждать так. Имеется 15 способов, в которых участвует шар номер 1, а именно: слева (справа) находятся шары 1 и 2, 1 и 3,...,1 и 16; 14 способов, в которых участвует шар номер 2: это шары 2 и 3, 2 и 4,...,2 и 16 (способ «2 и 1» уже учтён в предыдущем случае): 13 способов с участием шара номер 3: это шары 3 и 4, 3 и 5,...,3 и 16: и так далее. Всего получаем $15+14+\dots+2+1=120$ способов. Количество способов, которыми может быть реализовано каждое состояние, назовём его «весом». Сведём «веса» в таблицу.

Состояния	Количество способов реализации («вес»)
0 и 16	1
0 и 15	16
2 и 14	120
3 и 13	560
4 и 12	1820
5 и 11	4368
6 и 10	8008
7 и 9	11 440
8	12 870

Из таблицы видно, что наибольшим числом способов могут быть реализованы состояния 7, 8 и 9, т.е. состояния, когда примерно половина шаров расположена на левой половине бильярда, а другая половина – на правой. Для каждого отдельного шара нет никаких оснований выделять преимущественную область его пребывания. С тем же успехом мы можем утверждать, что нет никаких оснований предпочесть одну какую-либо конфигурацию расположения дуг. А тогда, когда бы ни была эта конфигурация, рано или поздно она реализуется, а средний промежуток времени, в течение которого на бильярдном столе имеет место данная конфигурация, одинаков для всех конфигураций. Каждый из рассмотренных выше способов представляет частный случай конфигурации. Следовательно, средний промежуток времени, в течение которого бильярд находится в данном состоянии, пропорционален количеству способов, которыми реализуется данное состояние. Поэтому большую часть времени бильярдный стол проводит в состояниях 7, 8, 9 (примерно в 12 тысяч раз большую, чем в состояниях 0 и 16).

Можно рассуждать и иначе. Если, бросив взгляд на бильярдный стол, мы застали его в состоянии 0 или 1 (15 или 16), у нас есть все основания ожидать, что в скором времени на смену этому состоянию придёт какое-нибудь более часто встречающееся (аналог выравнивания давления в примере с сосудами А и В с газом). Наоборот, если мы застаём стол в состоянии 7, 8 или 9, у нас есть все основания считать, что ещё в течение достаточно долгого времени он будет пребывать в этом состоянии. Можно сказать, что «состояние бильярда стремится к состоянию 7, 8 или 9». Это верно в том смысле, что действительно на смену редко встречающимся состоянием быстро приходят часто встречающиеся состояния.

Состояния, введённые выше, имеют и определённый физический смысл. Заметим, что общая масса шаров, расположенных, скажем, в левой половине бильярда, равна массе одного шара, умноженной на номер состояния. С этих позиций можно сказать, что большую часть времени бильярдная система проводит в таком состоянии, когда масса шаров, расположенных слева, примерно равна массе шаров справа. Эти закономерности выполняются тем точнее, чем больше имеется шаров (или молекул газа в сосуде). Например, для 16 шаров средний промежуток времени, в течение которого стол будет находиться в одном из «средних» состояний, составляет примерно 0,328 от полного времени наблюдения, для 50 шаров – уже 0,8, для 100 шаров – 0,94, ну а для 10^{23} молекул газа в сосуде оно неотличимо от 1 (вспомним, что для газа из такого числа молекул фазовое пространство $6 \cdot 10^{23}$ -мерно!).

Тем самым решение парадокса Цермелло становится полностью прозрачным: система молекул стремится к состоянию с наибольшим «весом», а состояние с наименьшим возможным «весом», хотя обязательно и реализуется – по теореме Пуанкаре, - но в среднем это происходит ничтожно редко. Как остроумно ответил Больцман на возражения Цермелло, связанные с теоремой Пуанкаре: «Долго же Вам придётся ждать».

Замечание. В рассмотренном здесь бильярде справедлив принцип обратимости: если бильярдный шар попал из точки А в точку В после нескольких отражений от борта γ бильярдного стола, то при его движении из точки В с противоположной начальной скоростью шар попадёт в точку А, двигаясь точно по тому же пути, но в обратном направлении.

Для понимания дальнейшего нам придётся ввести понятие эргодичности случайного процесса.

Случайным процесс (СП) - процесс, изменяющийся под воздействием множества факторов, полный состав и (или) закон воздействия которых невозможно установить. Случайные процессы исследуют по их проявлениям, пытаются определить оценки их характеристик (математическое ожидание, дисперсия, корреляционная функция и спектр, а для многомерных процессов - взаимокорреляционные функции, взаимный спектр и когерентность). Реализация СП - последовательность значений, фиксируемых при наблюдении СП. Стационарный СП - СП, некоторые характеристики которого неизменны во времени.

Эргодический случайный процесс - СП, характеристики которого для различных реализаций аналогичны характеристикам для одной реализации. Для эргодического процесса можно заменить усреднение по реализациям на усреднение по времени.

Случайный процесс эргодичен, если с вероятностью, равной единице, все его статистические характеристики можно предсказать по одной реализации из ансамбля процесса с помощью усреднения по времени; иными словами, средние значения по времени почти всех возможных реализаций процесса с вероятностью единицы сходятся к одной и той же постоянной величине (среднему значению по ансамблю). Другими словами, среднее по времени равно среднему по реализациям. Благодаря свойству эргодичности значительно упрощается математический анализ случайных процессов.

Эргодичность бильярда в области Q проявляется в свойстве всюду плотности бильярдных траекторий, т.е. равномерной распределённости в соответствующей области.

Если бильярдная траектория всюду плотна в области Q , т.е. бильярдный шар рано или поздно попадает в любую заданную фигуру Φ , лежащую в Q , то можно заняться вопросом: какую долю времени шар проводит в фигуре Φ ? Имеется в виду, что сначала мы вычисляем долю времени за фиксированный промежуток T (т.е. вычисляем отношение $\lambda(T)=t/T$, где t – время, в течение которого за промежуток T шарик побывал в области Φ), а затем устремляем T к бесконечности и берём $\lim(T \rightarrow \infty) \lambda(T)$.

Если окажется, что указанная доля времени, которую проводит шарик в фигуре Φ , пропорциональна площади фигуры Φ (или, что то же самое, пропорциональна отношению площади фигуры Φ к площади области Q), и это верно для «типичной» траектории, то говорят, что данная бильярдная система эргодична). Отношение t/T (вернее, его предел $T \rightarrow \infty$) называется «временным средним», а отношение площади фигуры Φ к площади области Q – «пространственным средним». Поэтому эргодичность системы формируется ещё и как возможность занять временные средние пространственными средними. Траектория в эргодической системе заполняет область всюду плотно и равномерно, т.е. «размазана» по области с равной «плотностью». Свойство эргодичности сильнее свойства всюду плотности, поскольку подразумевает его выполнение; таким образом, из эргодичности системы следует всюду плотность типичной траектории, но не наоборот, хотя очень часто оказывается, что если какая-то траектория всюду плотна, то и вся система эргодична.

Изучение движения молекул газа относится к области физики, называемой статистической механикой. Основы этой науки заложены в трудах Максвелла, Больцмана, Гиббса. Людвиг Больцман выдвинул «эргодическую гипотезу», в настоящее время носящую его имя и состоящую в том, что система «газ шаров» эргодична. На этой гипотезе основан вывод законов Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, уравнения Клайперона-Менделеева и других уравнений молекулярно-кинетической теории газа. Однако сама гипотеза Больцмана до сих пор доказана только для частных случаев.

Выдающийся вклад в обоснование статистической механики внесли Н.С. Крылов и Я.Г.Синай. Важной идеей в их исследованиях явилось то, что газ можно заменить бильярдом, правда, в очень многомерной и криволинейной области специального вида. Сведение системы абсолютно упругих шаров к системе бильярдного типа впервые появилось в книге Н.С.Крылова «Работы по обоснованию статистической физики» (1950), в последовательная математическая теория развита Я.Г.Синаем, который в 1970 в работе «Динамические системы с упругими отражениями» доказал, что уже система твёрдых дисков в прямоугольнике является эргодичной.

Для решения парадокса было привлечено понятие устойчивости и задан вопрос: устойчиво ли движение шаров в бильярде? Если оно устойчиво, то Цермелло и Пуанкаре правы, и результаты Больцмана не корректны. Если оно неустойчиво, то это обстоятельство и является «причиной» необратимости процесса.

Для решения этой задачи следует рассматривать не один точечный шар, а соударение множества шаров, имеющих конкретные размеры. Движения шаров между соударениями нейтральны, поэтому неустойчивость может возникнуть лишь при соударении шаров. Задачу можно упростить и рассмотреть многократное отражение материальной точки от выпуклой поверхности кривизны R ($R=2r$, где r - радиус шара). Для этого представим, что шар находится в ограниченном пространстве, в котором хотя бы одна из отражающих поверхностей выпукла. Задача о многократном столкновении одного шара с выпуклой поверхностью была поставлена и решена Л.Г. Синаем, и схема носит название «бильярд Синая», а характеристика разупорядоченности системы называется энтропией (иногда совпадающая, а иногда нет с энтропией Больцмана).



Рис. 7 Сосуд Q в бильярде Синая обобщает многогранные углы с плоскими стенками - Q может быть многогранным углом или ограниченной областью с выпуклыми внутренними стенками

Бильярды Синая устроены так: их граница состоит из кусков выпуклых кривых (в пространстве – кусков выпуклых поверхностей) обращённых своими выпуклостями внутрь бильярдной плоскости (**Рис. 7**). Эти бильярды являются рассеивающими: любой (не обязательно узкий) пучок бильярдных частиц, летящих параллельно, после отражения от выпуклой стенки разлетается расходящимся веером (**Рис.8**) и остаётся расходящимся при всех последующих отражениях от границы бильярдной области. Эта ситуация кардинально отличается от той, которая имеет место, скажем для бильярда в многоугольнике, где параллельный пучок после столкновения с прямолинейной стенкой остаётся по-прежнему параллельным, если только не попадает в вершину. В бильярде Синая близкие вначале бильярдные траектории с течением времени достаточно быстро расходятся и угол между соседними траекториями первоначально параллельного пучка возрастает после каждого отражения от границы. Поскольку площадь области Q конечна, траектории бесконечной длины начинают со временем перепутываться, что приводит к хаосу.

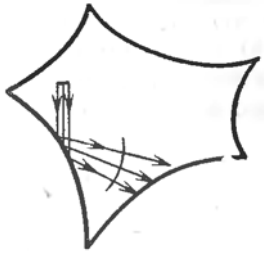


Рис. 8

На строгом математическом языке это обстоятельство находит своё выражение в следующее важное свойство бильярдных траекторий: в рассеивающих бильярдах имеет место эргодичность, т.е. типичная траектория бильярдного шара проходит сколь угодно близко от любой точки q бильярда Q , причём во всевозможных направлениях, и приводит в любой окрестности точки q долю времени, пропорциональную площади этой окрестности. Отметим также, что бильярды Синая обладают сильной неустойчивостью, которая характеризуется тем, что даже небольшое изменение начального состояния (положения q или скорости v) бильярдной частицы в области Q приводит к «сильным» изменениям его траектории, которая очень быстро перестаёт быть похожей на исходную.

Расчёты показывают, что угловое отклонение шаров возрастает при каждом отражении от выпуклой стенки. Энтропия растёт, причём рост связан просто с увеличением фазового объема $\Gamma(t)$, обусловленного глобальной неустойчивостью. Системы с такими свойствами называются эргодическими. Свойство эргодичности лежит в основе современной термодинамики.

Теория рассеивающих бильярдов применяется при исследовании многих важных моделей статистической физики, например, при доказательстве эргодичности газа твёрдых сталкивающихся молекул, при исследовании газа Лоренца и др

Замечание. Попытки сочленения детерминистского и вероятностного подходов привели к появлению наглядного приёма описания эволюции системы с произвольным числом N частиц. Полный набор динамических переменных в этом случае составляют $6N$ чисел - $3N$ координат и $3N$ импульсов. Тогда состояние системы в целом в данный момент времени можно задать одной точкой в некотором абстрактном пространстве $6N$ измерений. Такое пространство получило название фазового Γ -пространства (в отличие от фазового m - пространства для одной частицы системы), или просто фазового пространства системы. В ходе эволюции системы изображающая точка в фазовом пространстве перемещается, описывая фазовую траекторию. В случае, когда выпуклая поверхность заменена плоской, система устойчива. Абсолютная величина импульса сохраняется при любом соударении. Ансамбль изображающих точек не расплывается, так что энтропия Синая со временем не возрастает. Такая система не является эргодической.

Подход Синая можно рассматривать как пример конструктивного использования понятия "обратный гугол".

Гугол число, изображаемое единицей со 100 нулями, т. е. число 10^{100} . Это – очень большое число. Гугол в определённом смысле можно считать бесконечностью, так как это число больше, чем общее количество всех частиц в известной нам вселенной. Гугол примерно равен факториалу числа 70. Гугол больше, чем количество частиц в известной нам части вселенной, которых насчитывается, по разным оценкам от 10^{72} до 10^{87} . Если начертить правильный многоугольник, количество сторон которого равно гуголу и который по размерам в 10^{27} раз будет превышать известную нам вселенную, то он всё равно будет выглядеть как круг, даже если его рассматривать в масштабе длины Планка. Начертить такой многоугольник невозможно, потому что во всей вселенной не хватит атомов для изготовления чернил. Сторона куба, состоящего из гугола атомов алюминия составит 58000000 световых лет.

Можно показать, что в случае термодинамически равновесного идеального газа (содержащего много частиц (т.е. «шаров»)) энтропия Синая совпадает с энтропией Больцмана, то есть с физической энтропией. Действительно, термодинамически равновесное состояние представляет собой совокупность микросостояний, каждое из которых неустойчиво и через короткое время заменяется другим. При этом величина $\Gamma(t)$ равна Γ_{\max} т.е. максимально доступному фазовому объёму. С механической точки зрения равновесное макросостояние вообще не является состоянием, и описывать его в терминах механики бессмысленно. Однако, средние характеристики его со временем не изменяются, то есть стационарны и

устойчивы. К таковым относятся: средняя кинетическая энергия частиц (температура), средний импульс, передаваемый в единицу времени единице поверхности при соударениях со стенкой (давление) и усредненное по ансамблю распределение частиц по энергиям. Энтропия в свете изложенного представляет собой не более чем удобную, хотя и условную, меру вероятности. В принципе можно было бы вообще обойтись без этого понятия и оперировать вероятностями. Однако это неудобно, поскольку вероятности, как правило, очень малы (меньше чем обратный "гугол", а энтропия (в силу логарифмической зависимости) выражается разумным числом). Утверждение о том, что энтропия может только увеличиваться, означает, что в глобально неустойчивых процессах изображающие точки разбегаются друг от друга независимо от того, рассматриваем ли мы процесс в прямом или обратном направлении времени.

В заключение сделаем несколько замечаний.

1) Эргодичность является следствием глобальной неустойчивости, возникающей при взаимодействии частиц, но не связана с числом частиц. Действительно, в бильярде Синая имеется только одна частица, и её траектория с течением времени равномерно заполняет все доступное фазовое пространство (т.е. система эргодична). В бильярде Больцмана достаточно нескольких шаров для того, чтобы (в силу неустойчивости их соударений) заполнить все доступное фазовое пространство. При этом распределение их по энергиям подчиняется закону Больцмана. С другой стороны, в системах, содержащих много частиц, но движущихся устойчиво, эргодичность не имеет места. Примером может служить солнечная система, в которой имеются десятки тел (планет, спутников и т.д.), поведение которых отнюдь не хаотично.

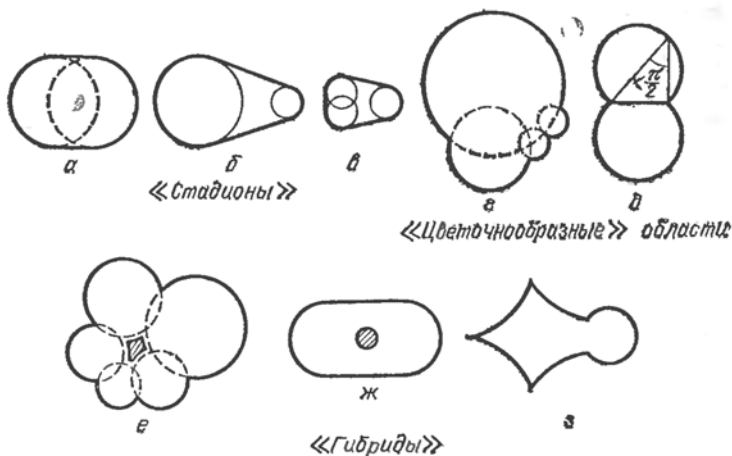
2) В задачах Больцмана и Синая рассмотрены взаимодействия с так называемым «жёстким кором». Принято, что взаимодействие отсутствует, если расстояние между шарами больше двух радиусов шаров. Сближение шаров на расстояние, меньшее удвоенного радиуса, исключается. Такому взаимодействию соответствует потенциал в виде бесконечной стенки на расстоянии двух радиусов. При взаимодействии реальных частиц (атомов и/или молекул) ситуация иная. На малых расстояниях преобладают силы отталкивания, на больших - притяжения. Если потенциал отталкивающих сил $U(r)$ зависит от расстояния r достаточно резко, то можно ввести "эффективный радиус", и в этом случае результаты Синая сохраняются. Если же имеет место дальное действие, то эффективный радиус становится бесконечным. Тогда, согласно движению частиц устойчиво по Ляпунову. Гравитационные силы являются дальнедействующими, что и объясняет отсутствие хаоса в планетарной системе.

3) Согласно теории неравновесных процессов, изложенной в трудах Пригожина и Ван Хова, энтропия может изменяться только в системах, обладающих *бесконечным числом степеней свободы*. Этот вывод подтверждает давнишние подозрения физиков, что нарушение закона сохранения энтропии как-то связано с так называемым термодинамическим пределом, т. е. переходом от систем с конечным числом частиц к таковым, содержащим бесконечное их число. Дело в том, что в неограниченных по числу степеней свободы системах запрет Пуанкаре на изменение энтропии перестает действовать, поскольку время возврата в таких системах делается бесконечно большим.

4) Теорема о возвратах показывает, что информация о состоянии материальной системы с течением времени никуда не исчезает. Поскольку информация прямо связана с энтропией, мы видим, что в изолированной системе энтропия должна сохраняться. По сути, если исходить только из динамических уравнений физики, энтропия должна быть, подобно, например, энергии, *аддитивным интегралом движения*. Пользуясь терминологией И. Пригожина, можно сказать, что уравнения физики описывают мир *существующего*. Зная его состояние в определенный момент времени, мы знаем, в каком состоянии он существует во все последующие и предыдущие моменты времени. Такой мир не содержит в себе ничего *возникающего*, т. е. каких-либо необратимых во времени событий. Надо думать, что «закон сохранения энтропии» связан с инвариантностью уравнений физики относительно обращения времени, подобно тому, как закон сохранения энергии проистекает из инвариантности этих уравнений по отношению к переносам во времени.

5) Принцип суперпозиции энтропии не находит своего продолжения в классической механике: *в классической механике энтропия всегда равна нулю*. Эргодическая гипотеза утверждает, что среднее по времени значение какого-либо параметра, характеризующего материальную систему, равно среднему по её ансамблю. Более ста лет прошло со времени возникновения проблемы, но доказательства верности эргодической гипотезы нет до сих пор. Как можно понять из изложенного, его и быть не может. Классическая материальная система обладает точно определенными значениями своих интегралов движения и, следовательно, любой параметр, зависящий от этих интегралов, равен вполне определенной величине, так что говорить о каком-либо среднем значении этого параметра бессмысленно.

Впоследствии Л.А.Бунимович исследовал другой класс бильярдов – так называемые фокусирующие бильярды (или, как теперь принято их называть, бильярды Бунимовича), в которых, несмотря на отсутствие рассеивающих участков границы, также обнаруживается явление рассеивания и, как следствие, хаотичность



поведения траекторий. Наиболее известным и популярным примером такого бильярда является «стадион», который получится, если раздвинуть две половинки круглого бильярда и вставить между ними одинаковые параллельные отрезки (т.е. граница «стадиона» состоит из двух окружностей и двух касательных к ним отрезков) – **Рис.9**. Несмотря на то, что два прямолинейных участка границы «стадиона» могут быть сколь угодно малыми, а сам стадион почти не отличаться от круга, бильярд в стадионе будет уже хаотическим! Хаотичность имеет место и для других примеров бильярдов Бунимовича, изображенных на **Рис. 9, б-з**

Рис. 9. Бильярды Бунимовича

Круглые куски границ стадионов и цветочнообразных областей (дуги окружностей) обладают следующим важным свойством: дополнение к любой дуге до целой окружности расположено внутри области – только в этом случае бильярд в соответствующей области будет хаотичным. Например, если рассмотреть бильярд, состоящий из двух одинаковых круглых сегментов, то, в случае когда сегмент вмещает в себя острый угол (т.е. содержит полукруг), бильярд будет хаотичным, а когда вписанный угол прямой или тупой – хаотичности нет (**Рис.9 а,б**). Во втором случае у бильярда имеется устойчивая периодическая траектория АВ периода 2 – если эту траекторию немного «пошевелить», то возникшая новая траектория будет по-прежнему располагаться вблизи отрезка АВ. В сегменте же **Рис.9а** смещённая траектория уйдёт от исходного положения и заполнит со временем всю область.

Отметим, что энтропия (или скорость расходимости траекторий) в бильярдах Бунимовича и Синая имеет одинаковую асимптотику при энтропии, стремящейся к нулю.

Следует упомянуть о так называемых осциллирующих бильярдах на бесконечных бильярдных столах. Бильярд называется осциллирующим, если у него существуют осциллирующие траектории – временами уходящие сколь угодно далеко, а временами возвращающиеся. Поведение бильярдного шара на столе, уходящем в бесконечность, является моделью движения частицы в электромагнитных полях, определённых конфигураций (ловушках).

Отметим, что помимо бильярда Больцмана (плоского и многомерного, Синая, Бунимовича существуют и другие, например, газ Рэля, периодический газ Лоренца (обладающий эргодичностью бильярд на d -мерном торе ($d > 2$), из которого вырезана одна или несколько попарно непересекающихся сферических областей, называемых *рассеивателями*), бильярд Леонтовича, бильярд Заславского и др. Мы ими заниматься не будем, но к самим бильярдам мы ещё вернёмся в последующих лекциях, когда будем рассматривать энтропию хаоса.

До сих пор мы рассматривали «детерминированный» бильярд, т.е. бильярд в котором движения шаров определялись классическими законами кинематики, так что процесс ударов шаров о стенки сосуда с последующими отражениями были обратимы во времени, т.е. полностью детерминированными. Однако, наличие помех (флуктуаций) быстро переводит бильярд из детерминированного процесса в недетерминированный, т.е. в хаос.

Идеологом детерминизма выступил Лаплас, который в 1776 писал: «Состояние системы природы в настоящем есть, очевидно, следствие того, каким оно было в предыдущий момент, и если мы представим себе разум, который в данное мгновение постиг все связи между объектами Вселенной, то он сможет установить соответствующие положения, движения и общие воздействия всех этих объектов в любое время в прошлом или в будущем».

Пуанкаре, который, в принципе тоже был сторонником детерминизма и именно с этих позиций критиковал Больцмана, тем не менее, в 1903 отмечал: «Совсем незначительная причина, ускользнувшая от нашего внимания, вызывает значительный эффект, который мы не можем не заметить, и тогда мы говорим, что этот эффект вызван случаем. Если бы мы точно знали законы природы и положение

Вселенной в начальный момент, мы могли бы точно предсказать положение той же Вселенной в последующий момент. Но даже если бы законы природы открыли нам все свои тайны, мы и тогда могли бы знать начальное положение только приближённо. Если бы это позволило нам предсказать последующее положение с тем же приближением, это было бы всё, что нам требуется, и мы могли бы сказать, что явление было предсказано, что оно управляется законами. Но это не всегда так; может случиться, что малые различия в начальных условиях вызовут очень большие различия в конечном явлении. Малая ошибка в первых породит огромную ошибку в последнем. Предсказание становится невозможным, и мы имеем дело с явлением, которое развивается по воле случая».

Детерминизм (*determino* - определяю), философское учение об объективной закономерной взаимосвязи и взаимообусловленности явлений материального и духовного мира. Центральным ядром детерминизма служит положение о существовании причинности, т. е. такой связи явлений, в которой одно явление (причина) при вполне определённых условиях с необходимостью порождает, производит другое явление (следствие). Современный детерминизм предполагает наличие разнообразных объективно существующих форм взаимосвязи явлений, многие из которых выражаются в виде соотношений, не имеющих непосредственно причинного характера, т. е. прямо не содержащих в себе моментов порождения, производства одного другим. Сюда входят пространственные и временные корреляции, те или иные ассоциации, функциональные зависимости, отношения симметрии и т.п. Особенно важными в современной науке оказываются вероятностные соотношения, формулируемые на языке статистических распределений и статистических законов. Однако все формы реальных взаимосвязей явлений складываются на основе всеобщей действующей причинности, вне которой не существует ни одно явление действительности, в том числе и такие события (называемые случайными), в совокупности которых выявляются статистические законы.

Чтобы показать, насколько чутко реагируют некоторые физические системы на внешние воздействия, приведём простой пример. Представим себе несколько идеализированный бильярд, в котором шары катятся по столу и сталкиваются между собой так, что потерями энергии можно пренебречь. Игрок делает один удар, и начинается длинная серия столкновений; естественно, он хочет знать, что последует за его ударом. На какой срок может игрок, в совершенстве контролирующий свой удар, предсказать траекторию шара, который он толкнул своим кием? Если он пренебрежёт даже столь малым воздействием, как гравитационное притяжение электрона на краю галактики, прогноз окажется неверным уже через одну минуту!

Быстрый рост неопределённости объясняется тем, что шары не идеальны, и небольшие отклонения от идеальной траектории в точке удара с каждым новым столкновением увеличиваются. Рост происходит экспоненциально подобно тому, как размножаются бактерии в условиях неограниченного пространства и запаса пищи. С каждым новым столкновением ошибки накапливаются, и любое даже самое малое воздействие быстро достигает макроскопических размеров. Это одно из основных свойств хаоса.

Хаос - состояние, при котором очень трудно или вообще невозможно предсказать развитие той или иной системы в будущем.

Открытие хаоса породило новый образец научного моделирования. С одной стороны, оно ввело новые принципиальные ограничения на возможность предсказаний. С другой стороны, заложенный в хаосе детерминизм показал, что многие случайные явления более предсказуемы, чем считалось раньше. Собранная в прошлом информация, казавшаяся случайной и отправленная на полку как слишком сложная, теперь получила объяснение при помощи простых законов. Хаос позволяет находить порядок в столь различных системах, как атмосфера, подтекающий водопроводный кран или сердце. Это революционное открытие затронуло многие области науки.

4. ВОЗВРАЩЕНИЕ ПУАНКАРЕ

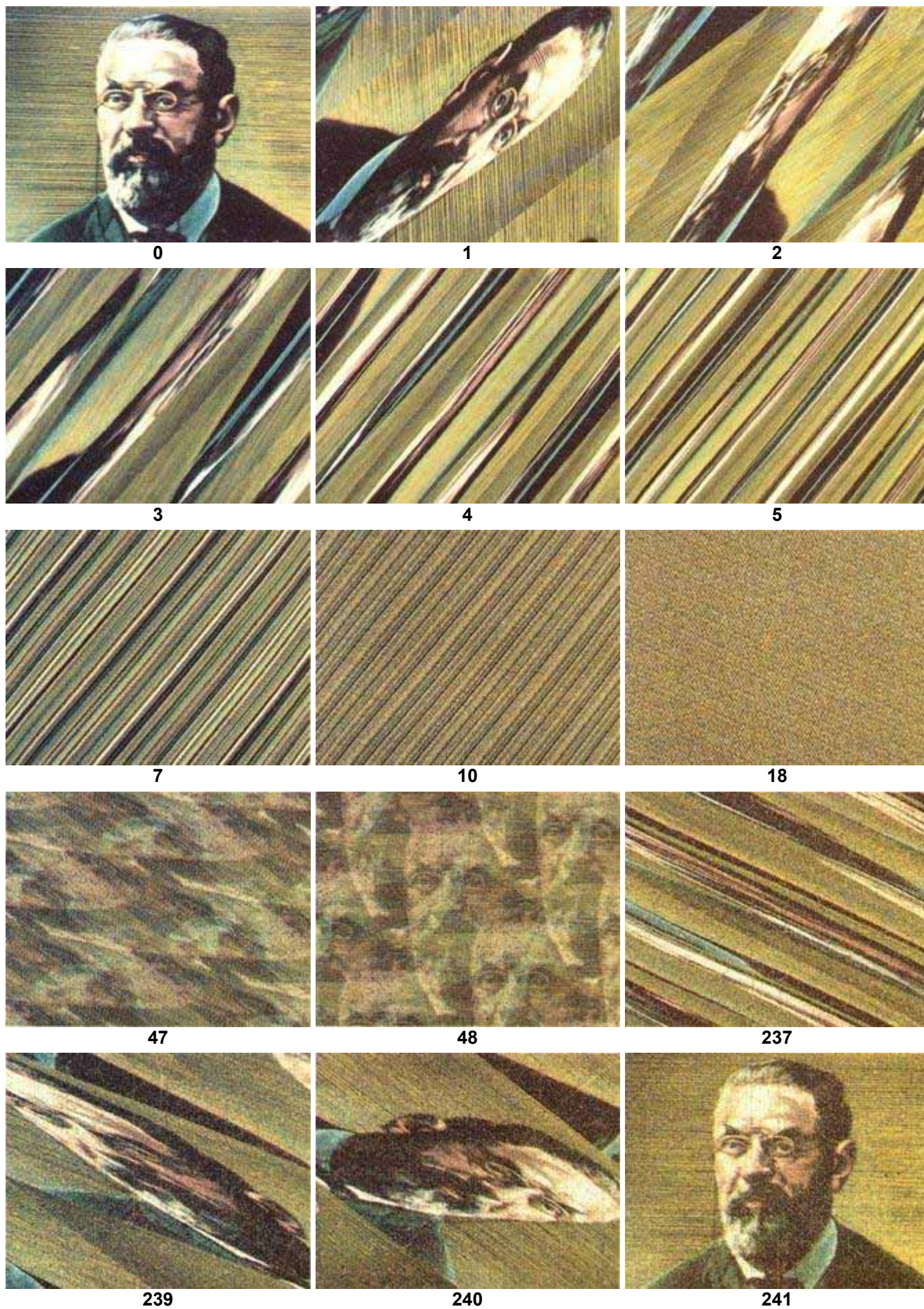


Рис. 10. Эволюция хаоса при геометрической операции растяжения.

Огромная сила науки заключена в её способности устанавливать связь между причиной и следствием. Например, законы гравитации позволяют предсказывать затмения на тысячи лет вперёд. Другие явления природы не поддаются столь точному предсказанию. Течения в атмосфере так же строго подчиняются физическим законам, как и движения планет, тем не менее прогнозы погоды всё ещё имеют вероятностный характер. И погода, и течение горной реки, и движение брошенной игральной кости имеют в своём поведении непредсказуемые аспекты. Так как в этих явлениях не видно чёткой связи между причиной и следствием, говорят, что в них присутствует элемент случайности. Однако до недавнего времени было мало оснований сомневаться в том, что в принципе можно достичь точной предсказуемости. Считалось, что для этого необходимо только собрать и обработать достаточное количество информации.

Такую точку зрения круто изменило поразительное открытие: простые детерминированные системы с малым числом компонент могут порождать случайное поведение, причём эта случайность имеет принципиальный характер - от неё нельзя избавиться, собирая больше информации. Порождаемую таким способом случайность стали называть хаосом.

Кажущийся парадокс состоит в том, что хаос детерминирован - порождён определёнными правилами, которые сами по себе не включают никаких элементов случайности. В принципе будущее полностью определено прошлым, однако на практике малые неопределённости растут и поэтому поведение, допускающее краткосрочный прогноз, на долгий срок непредсказуемо. Таким образом, в хаосе есть порядок: в основе хаотического поведения лежат изящные геометрические структуры, которые создают случайность таким же способом, как создает её сдающий карты, тасуя колоду, или миксер, размешивая тесто для бисквита.

Хаос связан с применением геометрической операции растяжения. Эффект растяжения проиллюстрирован на примере портрета французского математика Анри Пуанкаре, основоположника теории динамических систем. Исходное изображение (*вверху слева*) было преобразовано в цифровую форму, так чтобы операцию растяжения мог выполнять компьютер. Простое математическое преобразование растягивает изображение по диагонали, как будто оно нарисовано на резиновой поверхности. Там, где изображение вылезает за рамки исходного, оно обрезается и вставляется с другой стороны, как показано на кадре 1. (Номер кадра указывает на количество выполненных преобразований.) После повторных применений преобразования разобрать лицо уже невозможно (кадры 2–4). В конечном счёте появляется случайная комбинация цветов, дающая равномерное зелёное поле (кадры 10 и 18). Иногда случается так, что некоторые точки возвращаются к своему исходному положению, и тогда на короткое время проявляется исходное изображение (кадры 47–48, 239–241).

Показанное здесь преобразование отличается тем, что это явление, называемое в статистической физике «возвращение Пуанкаре», происходит гораздо чаще, чем обычно; при типичном хаотическом преобразовании возвращение чрезвычайно редко и происходит, быть может, лишь однажды за всё время существования Вселенной. При наличии ничтожных фоновых флуктуаций время между возвращениями обычно столь велико, что вся информация об исходном изображении утрачивается

5. КОШКА ШРЕДИНГЕРА

В начале XX века физики обнаружили, что электроны обладают загадочным свойством исчезать на одной орбите и тут же появляться на другой. Чтобы как-то объяснить этот феномен микромира, ученые вынуждены были допустить, что элементарные частицы могут существовать и в виде корпускул, и в виде волны. Луи де Бройль предположил, что каждой частице соответствует волна, заполняющая всё пространство. Амплитуда этой волны максимальна там, где вероятнее всего находится частица. Но в любой момент без видимого перехода она может изменить местоположение.

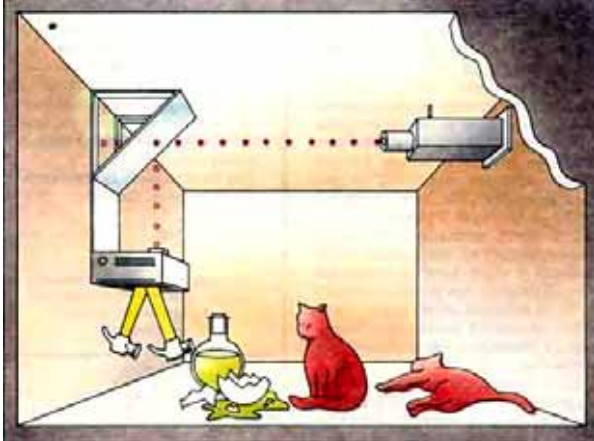
В классической физике состояние системы материальных тел однозначно определяется значениями интегралов движения, характеризующих данную систему. Количество этих интегралов равно числу степеней свободы материальной системы, т. е. числу независимых движений, в которых эта система может участвовать. Такие известные интегралы движения, как энергия, импульс и момент импульса присущи всем материальным системам. Они называются аддитивными интегралами, поскольку для тех материальных систем, что состоят из физически независимых подсистем, их величины получаются в результате сложения соответствующих интегралов этих подсистем.

В квантовой механике возможны состояния, в которых интегралы движения *не имеют определенного значения!* Такие состояния не имеют аналогов в классической механике. Квантовая механика устроена так, что если система может находиться в одном из двух каких-либо состояний, то она может находиться и в состоянии, представляющем собой *линейную комбинацию* этих состояний. Состояния, в

которых интегралы движения не имеют определенного значения можно назвать *композиционными*. Эти состояния представляют собой сумму базисных состояний, взятых с соответствующими коэффициентами. Эти коэффициенты в квантовой механике называются амплитудами. Описанное свойство квантовомеханических состояний носит название *принципа суперпозиции состояний*. Очень важно понимать, что принцип суперпозиции отражает качественную сторону уравнений квантовой механики и не зависит от того, насколько малое или большое значение мы могли бы придать постоянной Планка. Для того, чтобы охарактеризовать степень сложности того или иного композиционного состояния системы мы можем использовать параметр, называемый *энтропией*. Этот параметр определяется формулой

$$S = -S_p \Omega \ln \Omega,$$

где Ω – статистический оператор, иначе – матрица плотности, соответствующая данному состоянию системы. Она определяется через амплитуды, характеризующие это состояние и показывает, с каким весом то или иное базисное состояние входит в рассматриваемое композиционное.



Иллюстрацию ситуации, в которой квантовая система одновременно в двух состояниях, один из основателей квантовой механики Шрёдингер представил в виде парадокса, который называется кошкой (котом) Шрёдингера, и в котором хищница одновременно жива и мертва.

Замечание. В Интернете активно обсуждается пол животного в парадоксе Шрёдингера, а также причина по которой Шрёдингер для примера выбрал именно представителя кошачьих. Здесь нет проблемы: в оригинальной статье Шрёдингера, опубликованной в журнале *Naturwissenschaften* в 1935: E. Schrödinger: «Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik» («Текущая ситуация в квантовой механике»), речь идёт именно о кошке. Сделано это специально, чтобы подозрение не пало на его любимого кота.

Обнаружив, что кот нагадил в неподобающем месте, Шрёдингер бросился его искать, в то время как кот сидел в коробке, ни жив, ни мёртв от страха.

Кошка Шрёдингера – героиня кажущегося парадоксальным мысленного эксперимента Эрвина Шрёдингера, которым он хотел продемонстрировать неполноту квантовой механики при переходе от субатомных систем к макроскопическим.

В закрытую коробку со светонепроницаемыми стенками помещена живая кошка. В ящике имеется радиоактивный атом, счётчик Гейгера, регистрирующий момент распада этого атома, механизм, стеклянная ампула с ядовитым газом и механизм её разбивания. Параметры эксперимента подобраны так, что вероятность того, что ядро распадётся за 1 час, составляет 50%. При распаде ядра вылетает радиоактивная частица. Если она проявит себя как корпускула, счётчик радиоактивности сработает, механизм разобьёт ампулу, ядовитый газ выделится и кошка умрёт. Если частица поведет себя как волна, счётчик не среагирует, и животное, соответственно, останется в живых. Что можно сказать о кошке глядя на закрытый ящик? С житейской точки зрения кошка либо жива, либо нет. Но законы квантовой физики предполагают, что кошка и жива, и мертва одновременно с вероятностью 0,5. И такое её странное состояние будет продолжаться до тех пор, пока какой-нибудь наблюдатель не снимет эту неопределенность, заглянув в ящик.

Согласно квантовой механике, если над ядром не производится наблюдения, то его состояние описывается суперпозицией (смешением) двух состояний – распавшегося ядра и нераспавшегося ядра, следовательно, кошка, сидящая в ящике, и жива, и мёртва одновременно. Если же ящик открыть, то экспериментатор обязан увидеть только какое-нибудь одно конкретное состояние – «ядро распалось, кошка мёртва» или «ядро не распалось, кошка жива». Вопрос стоит так: *когда система перестаёт существовать как смешение двух состояний и выбирает одно конкретное?* Цель эксперимента – показать, что квантовая механика неполна без некоторых правил, которые указывают, при каких условиях происходит коллапс волновой функции и кошка либо становится мёртвой, либо остаётся живой, но перестаёт быть смешением того и другого.

Существует две основных интерпретации данного парадокса.

В копенгагенской интерпретации система перестаёт быть смешением состояний и выбирает одно из них в тот момент, когда происходит наблюдение. Эксперимент с котом показывает, что в этой интерпретации природа этого самого наблюдения – измерения – определена недостаточно. Некоторые полагают, что опыт говорит о том, что до тех пор, пока ящик закрыт, система находится в обоих состояниях одновременно, в суперпозиции состояний «распавшееся ядро, мёртвая кошка» и «нераспавшееся ядро,

живая кошка», а когда ящик открывают, то только тогда происходит коллапс волновой функции до одного из вариантов. Другие догадываются, что «наблюдение» происходит, когда частица из ядра попадает в детектор; однако в копенгагенской интерпретации нет чёткого правила, которое говорит, когда это происходит, и потому эта интерпретация неполна до тех пор, пока такое правило в неё не введено или не сказано, как его можно ввести. Точное правило таково: случайность появляется в том месте, где в первый раз используется классическое приближение.

Таким образом, мы можем опираться на следующий подход: в макроскопических системах мы не наблюдаем квантовых явлений; поэтому, если мы накладываем макроскопическую волновую функцию на квантовое состояние, мы из опыта должны заключить, что суперпозиция разрушается. И хотя не совсем ясно, что значит, что нечто является «макроскопическим» вообще, про кота точно известно, что он является макроскопическим объектом. Поэтому копенгагенская интерпретация *не считает*, что до открытия ящика кот находится в состоянии смешения живого и мёртвого.

В многомировой интерпретации квантовой механики, которая не считает процесс измерения чем-то особенным, оба состояния кошки существуют, но декогерирует. Когда наблюдатель открывает ящик, он запутывается с кошкой и от этого образуются два состояния наблюдателя, соответствующие живой и мёртвой кошке, которые (состояния) не взаимодействуют друг с другом. Тот же механизм квантовой декогеренции важен и для совместных историй. В этой интерпретации только «мёртвый кот» или «живой кот» могут быть в совместной истории. Другими словами, когда ящик открывается, Вселенная расщепляется на две разные вселенные, в одной из которых наблюдатель смотрит на ящик с мёртвой кошкой, а в другой - другой наблюдатель смотрит на живую кошку.

Пример с кошкой демонстрирует, как причудливые законы квантовой механики позволяют объекту пребывать в двух различных состояниях одновременно до тех пор, пока некоторое возмущение не свернёт эту суперпозицию в одно из них. Пока такое поведение удалось наблюдать лишь на примере одиночных частиц – фотонов или электронов. Ведь большую систему очень трудно сохранить в невозмущённом состоянии.

Космолог М. Тегмарк предложил вариацию опыта с кошкой Шрёдингера под названием «машина для квантового самоубийства». Он рассматривает эксперимент с кошкой с точки зрения самой кошки и утверждает, что таким образом можно экспериментально различить копенгагенскую и многомировую интерпретации (нужно просто спросить у кошки в коробке: жива она или мертва).

Идея кошки Шрёдингера применяется на практике: в квантовых вычислениях и в квантовой криптографии. По волоконно-оптическому кабелю пересылается световой сигнал, находящийся в суперпозиции двух состояний. Если злоумышленники подключатся к кабелю где-то посередине и сделают там отвод сигнала, чтобы подслушивать передаваемую информацию, то это схлопнет волновую функцию (с точки зрения копенгагенской интерпретации будет произведено наблюдение) и свет перейдёт в одно из состояний. Проведя статистические пробы света на приёмном конце кабеля, можно будет обнаружить, находится ли свет в суперпозиции состояний или над ним уже произведено наблюдение и передача в другой пункт. Это делает возможным создание средств связи, которые исключают незаметный перехват сигнала и подслушивание.

Эксперимент (который в принципе может быть выполнен, хотя работающие системы квантовой криптографии, способные передавать большие объёмы информации, ещё не созданы) также показывает, что «наблюдение» в копенгагенской интерпретации не имеет отношения к сознанию наблюдателя, поскольку в данном случае к изменению статистики на конце кабеля приводит совершенно неодушевлённое ответвление провода.

В квантовых вычислениях состоянием Шрёдингерской кошки называется особое запутанное состояние кубитов, при котором они все находятся в одинаковой суперпозиции всех нулей или единиц, то есть $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\dots 0\rangle + |11\dots 1\rangle)$

Изначально Шрёдингер задумал свой эксперимент как иллюстрацию логической несуразности основ квантовой механики, однако его кошка оказалась неожиданно живуча и приобрел столь большой вес в научных кругах, о котором его хозяин, похоже, и не мечтал. В квантовой механике Шрёдингерский кот стал использоваться как иллюстрация декогеренции (разрушения) согласованных квантовых состояний (суперпозиций) под воздействием окружающей среды или вмешательства наблюдателя. Когда квантовая система вступает во взаимодействие со средой, в которой она находится, её суперпозиция распадается, и она переходит в одно из альтернативных состояний.

Итак, в квантовом мире возможно находиться одновременно в двух местах! Представим, что состояние одной частицы полностью описывается её цветом, который может быть либо красным, либо синим. В нашем мире два цвета, а значит, два состояния прекрасно различаются. По-иному в квантовом мире. Существуют состояния одновременности красного и синего. Только фотография или измерительный инструмент определяют синюю или красную природу системы. Без этого объект на самом деле не имеет цвета... Для указания этих странных состояний физики приводят пример кошки Шредингера.

Почему мы не встречаем в нашей повседневной реальности мертво-живых кошек? Как утверждают физики-теоретики, разрушение суперпозиций происходит в результате процесса декогеренции (нарушения когерентности, от латинского *cohaerentia* - сцепление, связь), вызываемого взаимодействием частиц с окружающей средой. Любая реальная система, будь то "квантовая" (микрочастица) или "классическая" (кошка), неминуемо находится под воздействием внешней среды - подвижного набора атомов, находящихся в непредсказуемых состояниях. Когда квантовая система вступает во взаимодействие со средой, в которой она находится, ее суперпозиция распадается, и она переходит в одно из альтернативных состояний.

В настоящее время физики-экспериментаторы могут удерживать атомы или отдельно взятые фотоны в состоянии суперпозиции на протяжении значительных периодов времени при условии, что взаимодействие с окружающей средой сведено до минимума. Однако чем больше система, тем выше её подверженность внешним воздействиям. В крупных комплексных системах, состоящих из многих миллиардов атомов, декогеренция происходит почти мгновенно, и по этой причине кошка не может быть одновременно мертвой и живой на каком-либо поддающемся измерению отрезке времени.

Долгое время полагали, что парадокс кошки Шредингера относится исключительно к микромиру, к миру элементарных частиц. Недавно, однако, оказалось, что двойственность состояний может встречаться и на атомном уровне. Так, физик Дэвид Ричард из Массачусетского университета показал, что квантовая физика распространяется не только на элементарные частицы, но и на молекулы, принадлежащие уже макромиру. Потом Кристофер Монро из Института стандартов и технологий (США) экспериментально показал реальность парадокса «кошки Шредингера» на атомном уровне.

Опыт выглядел следующим образом: ученые взяли атом гелия и мощным лазерным импульсом оторвали у него один из двух электронов. Получившийся ион гелия обездвигили, понизив его температуру почти до абсолютного нуля. У оставшегося на орбите электрона существовало две возможности - либо вращаться по часовой стрелке, либо против. Но физики лишили его выбора, затормозив частицу все тем же лучом лазера. Тут-то и произошло невероятное. Атом гелия раздвоился, реализовав себя сразу в обоих состояниях - в одном электрон крутился по часовой стрелке, в другом против часовой... И хотя расстояние между этими объектами было всего 83 нанометра, но на интерференционной картине отчетливо просматривалось: вот след одного атома, вот - другого.

Этот эксперимент не просто стал реальным физическим эквивалентом «кошки Шредингера», которая и жива и мертва одновременно. Опыт показал, что не только микро, но и макросистемы могут при определенных условиях раздваиваться или мгновенно переноситься в пространстве. А это уже может служить подтверждением реальности феномена телепортации.

В журнале Nature за январь 2000 года был описан эксперимент, результаты которого показали, как происходит на практике процесс декогеренции в "многоатомной" системе. Группе физиков из Национального института стандартов и технологии в Колорадо под руководством Дэвида Вайнленда (David Wineland) удалось проследить убыстрение декогеренции в зависимости от увеличения размеров системы, находящейся в суперпозиции. В ходе эксперимента они создавали суперпозиции квантовых состояний в отдельно взятых ионах бериллия, охлажденных до сверхнизких температур при помощи лазера, и удерживали их в ловушке электромагнитного поля. В этой ловушке лазерный луч мог быть использован для перевода иона в ряд суперпозиций его возможных квантовых состояний. После создания различных суперпозиций Вайнленд и его коллеги вызывали декогеренцию, подвергая ионы воздействию среды. Они не только показали, что под влиянием среды уровень когерентности уменьшается с течением времени, как и предсказывалось квантовой теорией, но и подтвердили предположение о прямой зависимости между «размером» суперпозиции и уровнем декогерентности. Более того, эксперимент показал, что при уменьшении воздействия среды когерентность системы восстанавливается.

Рассмотрим теперь связь парадокса кошки с энтропией.

С математической точки зрения энтропия является функционалом, определенным на множестве состояний материальной системы. Свойства энтропии таковы, что она не принимает отрицательных значений, и её величина тем меньше, чем ниже сложность композитного состояния, обращаясь в нуль лишь тогда, когда система находится в базисном состоянии. Такое определение энтропии соответствует нашему

интуитивному представлению о ней как мере хаоса - чем выше значение энтропии, тем более хаотичным является состояние материальной системы. Важным свойством энтропии является то, энтропия системы состоящей из двух или более физически независимых подсистем равна сумме их энтропий. Иначе говоря, энтропия обладает свойством аддитивности. Из того факта, что энтропия систем, находящихся в базисном состоянии, равна нулю, следует весьма неожиданный вывод - в классической механике энтропия всегда равна нулю. Это лишний раз указывает на то, что принцип суперпозиции не находит своего продолжения в классической механике.

Физика *постулирует* существование объектов - они называются наблюдателями или, весьма неудачно, классическими приборами, - специфическое взаимодействие которых с материальными системами, приводит к уменьшению энтропии последних. Этот процесс называется редукцией пси-функций или редукцией ансамблей. В результате взаимодействия наблюдателя с материальной системой, находящейся в композитном состоянии, приобретают фиксированные значения некоторые из её интегралов, не имевших до этого определенной величины. При этом уменьшается количество компонент в соответствующем ансамбле, т. е. он редуцируется. Например, если некая материальная система, - скажем, квантовый осциллятор - находится в бикомпозитном состоянии, представляющем собой смешение в равных пропорциях двух базисных состояний с разными значениями энергии, то в результате необратимого акта редукции она оказывается в одном из этих базисных состояний, а её энтропия уменьшается, как легко подсчитать, от величины равной $\ln 2$ до нуля.

Объекты квантовых систем в отличие от макрообъектов могут одновременно находиться в двух различных состояниях (это свойство получило название суперпозиции). Например, спин атома может «указывать» одновременно «вверх» и «вниз». Суперпозиция сохраняется до тех пор, пока не будет проведено измерение. В момент, когда ученый измеряет состояние квантовой системы, она переходит в одно из двух состояний. Обычно в таком неопределённом положении живут крошечные неодушевлённые объекты, например атомы.

Что же получится, если попробовать создать суперпозицию квантовых состояний для большего объекта, ещё и относящегося, по некоторым представлениям, к миру живой природы? Предложен эксперимент по «подвешиванию» вируса табачной мозаики в суперпозиции двух квантовых состояний. Его стержнеобразная форма (50 нанометров в диаметре и 1 микрометр в длину) больше всего понравилась учёным. Сначала вирус поместят в вакуум, где его поймает в ловушку созданное лазером электромагнитное поле. Затем другим лазером команда исследователей намеревается замедлить движение вируса, пока он совсем не остановится в одном из самых низких энергетических состояний. Как только это произойдёт, физики с помощью фотона заставят его перейти в суперпозицию двух квантовых состояний: до проведения измерения вирус, по идее, должен будет находиться в «смеси» движения и неподвижности одновременно. По мнению тех, кто не относит вирусы к живым существам, описанный выше эксперимент не представляет особого интереса. Аналогичный опыт можно провести с любой достаточно сложной органической молекулой. Если физикам удастся воплотить на практике свой метод, они станут первыми, кто будет наблюдать суперпозицию макроскопических систем.

К парадоксу Кошки Шредингера мы вернёмся в конце курса, когда будем рассматривать квантовую информацию.

6. КВАНТОВОЕ БЕССМЕРТИЕ

Квантовое бессмертие – мысленный эксперимент, вытекающий из мысленного эксперимента с квантовым самоубийством и утверждающий, что согласно многомировой интерпретации квантовой механики существа, имеющие способность к самознанию, бессмертны.

Представим, что участник эксперимента взрывает ядерную бомбу вблизи себя. Практически во всех параллельных вселенных ядерный взрыв уничтожит участника. Но несмотря на это, должно существовать небольшое множество альтернативных вселенных, в которых участник каким-либо образом выживает (то есть вселенных, в которых возможно развитие потенциального сценария спасения). Идея квантового бессмертия состоит в том, что участник остаётся в живых, и тем самым способен воспринимать окружающую реальность, по меньшей мере в одной из вселенных в множестве, пусть даже количество таких вселенных пренебрежимо мало в сравнении с количеством всех возможных вселенных. Таким образом, со временем участник обнаружит, что он может жить вечно. Некоторые параллели с этим умозаключением могут быть найдены в концепции антропного принципа.

Другой пример вытекает из идеи квантового самоубийства. В этом мысленном эксперименте участник направляет на себя ружьё, которое может либо выстрелить, либо нет в зависимости от результата

распада какого-либо радиоактивного атома. Вероятность, что в результате эксперимента ружьё выстрелит и участник умрёт, составляет 50 %. Если Копенгагская интерпретация верна, то ружьё в конечном итоге выстрелит, и участник умрёт. Если же верна многомировая интерпретация Эверета, то в результате каждого проведённого эксперимента вселенная расщепляется на две вселенных, в одной из которых участник остается жив, а в другой погибает. В мирах, где участник умирает, он перестает существовать. Напротив, с точки зрения не умершего участника, эксперимент будет продолжаться, не приводя к исчезновению участника, так как после каждого расщепления вселенных он будет способен осознавать себя только в тех вселенных, где он выжил. Таким образом, если многомировая интерпретация Эверетта верна, то участник может заметить, что он никогда не погибнет в ходе эксперимента, тем самым «доказывая» свое бессмертие, по крайней мере с его точки зрения.

Сторонники квантового бессмертия указывают на то, что эта теория не противоречит никаким известным законам физики. В своих рассуждениях они опираются на следующие два допущения: 1) Верна многомировая интерпретация Эверетта, а не Копенгагская интерпретация, так как последняя отрицает существование параллельных вселенных. 2) Все возможные сценарии, в которых в ходе эксперимента участник может умереть, содержат по крайней мере малое подмножество сценариев, где участник остаётся в живых.

Возможным аргументом против теории квантового бессмертия может быть то, что второе допущение не обязательно следует из многомировой интерпретации Эверетта, и оно может вступать в противоречие с законами физики, которые, как считается, распространяются на все возможные реальности. Многомировая интерпретация квантовой физики необязательно предполагает, что «всё возможно». Она лишь указывает на то, что в определённый момент времени вселенная может разделиться на некоторое число других, каждая из которых будет соответствовать одному из множества всех возможных исходов. К примеру, считается, что второе начало термодинамики справедливо для всех вероятных вселенных. Это означает, что теоретически существование этого закона препятствует образованию параллельных вселенных, где он нарушался бы. Следствием этого может быть достижение с точки зрения экспериментатора такого состояния реальности, где его дальнейшее выживание становится невозможным, так как это потребовало бы нарушения закона физики, который, по высказанному ранее допущению справедлив для всех возможных реальностей.

Например, при взрыве ядерной бомбы, описанном выше, достаточно трудно описать правдоподобный сценарий, не нарушающий основных биологических принципов, в котором участник останется в живых. Живые клетки просто-напросто не могут существовать при температурах, достигаемых в центре ядерного взрыва. Для того чтобы теория квантового бессмертия осталась справедливой, необходимо, чтобы либо произошла осечка (и тем самым не произошло ядерного взрыва), либо случилось какое-либо событие, которое основывалось бы на пока неоткрытых законах физики. Другой аргумент против обсуждаемой теории - наличие у всех существ естественной биологической смерти, которую невозможно избежать ни в одной из параллельных вселенных.

С другой стороны, второе начало термодинамики является статистическим законом, и ничему не противоречит возникновение флуктуации (например, появление области с условиями, подходящими для жизни наблюдателя во вселенной, в целом достигшей состояния тепловой смерти; или в принципе возможное движение всех частиц, возникших в результате ядерного взрыва, таким образом, что каждая из них пролетит мимо наблюдателя), хотя такая флуктуация возникнет лишь в крайне малой части из всех возможных исходов. Аргумент, относящийся к неизбежности биологической смерти, также может быть опровергнут на основании вероятностных соображений. Для каждого живого организма в данный момент времени существует ненулевая вероятность, что он останется жив в течение следующей секунды. Вероятность того, что он останется жив в течение следующего миллиарда лет, также отлична от нуля, хотя и очень мала.

Другим возможным проблематичным аспектом в идее квантового бессмертия может быть то, что согласно ей самосознающее существо будет «вынуждено» переживать чрезвычайно маловероятные события, которые будут возникать в ситуациях, при которых участник, казалось бы, должен погибнуть. Даже несмотря на то, что во многих параллельных вселенных участник умирает, те немногие вселенные, которые участник способен субъективно воспринимать, будут развиваться по крайне маловероятному сценарию. Это в свою очередь может в некотором роде вызвать нарушение принципа причинности. При любых нормальных условиях всякое мыслящее существо перед смертью проходит через этап уменьшения уровня самосознания, никак не связанный с квантовой механикой (этот спад может продлиться от нескольких секунд до нескольких лет). Поэтому у участника нет никакой возможности для

продолжительного существования посредством перехода из одного мира в другой, дающий ему возможность выжить.

Интересным аспектом идеи квантового бессмертия является то соображение, что сознающий себя разумный наблюдатель лишь в относительно малом числе возможных состояний, при которых он сохраняет самосознание, продолжает оставаться в, так сказать, «здоровом теле». Например, флуктуация, позволившая наблюдателю остаться в живых при взрыве ядерной бомбы, не обязана оставлять его тело абсолютно неповреждённым. Множество исходов, в которых наблюдатель, сохранив сознание, останется искалеченным, контуженным, обожжённым, страдающим лучевой болезнью, значительно обширнее множества исходов, в которых наблюдатель останется цел и невредим. Любая система (в том числе живой организм) имеет гораздо больше возможностей функционировать неправильно, чем оставаться в идеальной форме. Эргодическая гипотеза Больцмана требует, чтобы бессмертный наблюдатель рано или поздно прошёл все состояния, совместимые с сохранением сознания, в том числе и те, в которых он будет ощущать непереносимые страдания, - и таких состояний будет значительно больше, чем состояний оптимального функционирования организма. Таким образом, нам следовало бы надеяться, что многомировая интерпретация неверна.

Копенгагенская интерпретация - это интерпретация квантовой механики, которую сформулировали Нильс Бор и Вернер Гейзенберг во время совместной работы в Копенгагене в 1927. Бор и Гейзенберг усовершенствовали вероятностную интерпретацию волновой функции, данную М. Бором, и попытались ответить на ряд вопросов, возникающих вследствие свойственного квантовой механике корпускулярно-волнового дуализма, в частности на вопрос об измерении. Копенгагенская интерпретация предполагает, что на волновую функцию могут влиять два процесса: 1) унитарная эволюция согласно уравнению Шрёдингера; 2) процесс измерения. По поводу первого процесса не возникает разногласий ни у кого, а по поводу второго имеется ряд различных интерпретаций. С одной стороны, можно полагать, что волновая функция является реальным физическим объектом и что она во время второго процесса претерпевает коллапс, с другой стороны, можно считать, что волновая функция - лишь вспомогательный математический инструмент (а не реальная сущность), единственное предназначение которой — это давать нам возможность рассчитывать вероятности. Бор подчёркивал, что единственное, что можно предсказывать - это результаты физических опытов, поэтому дополнительные вопросы относятся не к науке, а к философии. Бор разделял философскую концепцию позитивизма, которая требует, чтобы наука говорила только о реально измеримых вещах. Мы живём в «возможностной» вселенной - такой, что в ней с каждым будущим событием связана определённая степень возможности, а не в такой, что в каждый следующий момент может случиться всё что угодно.

Многомировая интерпретация (ММИ) – интерпретация квантовой механики, которая предполагает существование «параллельных вселенных», в каждой из которых действуют одни и те же законы природы и которым свойственны одни и те же мировые постоянные, но которые находятся в различных состояниях. Многомировая интерпретация отказывается от недетерминированного коллапса волновой функции, который сопутствует измерению в копенгагенской интерпретации. Многомировая интерпретация обходится в своих объяснениях только явлением квантовой запутанности и совершенно обратимой эволюцией состояний. Для объяснения эффектов, происходящих при измерении, привлекается явление декогеренции, которая происходит, когда состояния взаимодействуют с окружающей средой. Интерпретация предполагает существование функции состояния для всей Вселенной, которая всё время подчиняется уравнению Шрёдингера и которая никогда не испытывает недетерминированного коллапса. Второй аспект состоит в предположении, что это вселенское состояние является квантовой суперпозицией нескольких состояний одинаковых невзаимодействующих между собой параллельных вселенных. Идеи ММИ берут начало в диссертации Хью Эверетта из Принстона (руководитель Джон Уилер, а сам термин «многомировая» обязан своим существованием Брайсу ДеВитту, который развил тему оригинальной работы Эверетта. Формулировка ДеВитта стала настолько популярной, что её часто путают с исходной работой Эверетта.

Как и другие интерпретации, многомировая призвана объяснить традиционный двухщелевой эксперимент. Когда кванты света (или другие частицы) проходят через две щели, то чтобы рассчитать, куда они попадут, требуется предположить, что свет обладает волновыми свойствами. Хотя в то же время, если кванты регистрируются, то они всегда регистрируются в виде точечных частиц, а не в виде размытых волн. Чтобы объяснить переход от волнового поведения к корпускулярному, копенгагенская интерпретация вводит процесс так называемого коллапса. К тому моменту, как Фон Нейман написал в 1932 свой трактат *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, явление «коллапса волновой функции» было встроено в математический аппарат квантовой механики в виде постулата, что существуют два процесса, при которых волновая функция изменяется: 1) Скачкообразное случайное изменение, вызываемое наблюдением и измерением; 3) Детерминированная эволюция со временем, подчиняющаяся уравнению Шрёдингера. Многие признавали, что явление коллапса волновой функции, предложенного копенгагенской интерпретацией для (1), является искусственным трюком и, следовательно, необходимо искать другую интерпретацию, в которой поведение при измерении трактуется с помощью более основополагающих физических принципов. Эверетт предложил подобную альтернативу. Он считал, что для составной системы

(каковой является частица, взаимодействующая с измерительным прибором) утверждение о том, что какая-либо подсистема находится в определённом состоянии, является бессмысленным. Это говорит об *относительном* характере состояния одной системы по отношению к другой. Формулировка Эверетта, приводящая к пониманию процесса коллапса волновой функции, происходящего при измерении, математически эквивалентна квантовой суперпозиции волновых функций.

Теория информации – основа информатики, и одновременно – одно из главных направлений технической кибернетики. В данной лекции под термином информация мы будем понимать техническую информацию, т.е. займёмся шенноновской теорией информации. Мы рассмотрим теоремы Шеннона, способы оценки количества дискретной и непрерывной информации, теорию передачи сообщений в отсутствии и наличии помех и её многочисленные приложения (от лингвистики до генетики). Естественно, нас будет интересовать роль информационной энтропии в технической информации, а также возможная связь информационной энтропии со статистической.

Основоположителем теории технической информации является американский ученый и инженер Клод Шеннон. Опубликованная им в 1948 работа «Математическая теория связи» содержала несколько плодотворных идей, развитием которых в последующие годы занимались тысячи ученых многих стран. Шеннон ввёл понятие технической информации, содержащейся в подлежащих передаче по каналу связи сообщениях, обобщив идеи Хартли. Он же ввёл в теорию технической информации энтропию, трактуемую как информационную энтропию, внешне похожую на статистическую энтропию Больцмана-Планка.

На первом этапе (1949-1959) в шенноновской теории информации фигурировало лишь одно «термодинамическое» понятие – энтропия. В ней, казалось, не было места для энергии и других аналогов термодинамических потенциалов. В этом отношении теория выглядела однобокой по сравнению со статистической термодинамикой. Но это было временным явлением. После осознания того, что в прикладной теории информации, понимаемой как теория передачи сигналов, аналогом энергии является функция штрафов, аналогом средней энергии является риск, положение изменилось. Стало очевидным сходство информационной теории с термодинамикой в числе основных понятий и соотношениях между ними. Выяснилось, что математические соотношения между соответствующими понятиями в обеих дисциплинах они и те же, а они-то и составляют содержание рассматриваемой здесь математической теории. Помимо энтропии, в теории информации имеются и другие понятия, такие, как шенноновское количество информации. Кроме первой вариационной задачи, связанной с экстремумом энтропии при фиксированном риске – энергии, в ней есть вариационные задачи, в которых энтропия заменяется на шенноновское количество информации. Поэтому содержание теории информации шире математического содержания статистической термодинамики.

При возникновении теории технической информации появление в ней такого хорошо известного в термодинамике понятия как энтропия воспринималось как курьёз, и этому не придавалось серьёзного значения. Считалось, что информационная энтропия не имеет ничего общего с физической энтропией (вопреки деятельности кибернетического автомата – демона Максвелла). Вскоре, однако, обнаружилось, что имеют место однотипные закономерности и в теории информации и в статистической физике, и их условно можно называть «термодинамическими».

В данной лекции мы рассмотрим взаимосвязь информации и энтропии.

1. ВЕРОЯТНОСТЬ В ИНФОРМАТИКЕ

1.1 Вероятность и энтропия

Случайные события могут быть описаны с использованием понятия «*вероятность*». Соотношения теории вероятностей позволяют найти (вычислить) вероятности как одиночных случайных событий, так и сложных опытов, объединяющих несколько независимых или связанных между собой событий. То, что событие случайно, означает отсутствие полной уверенности в его наступлении, что, в свою очередь, создаёт неопределенность в исходах опытов, связанных с данным событием. Безусловно, степень неопределенности различна для разных ситуаций. Например, если опыт состоит в определении возраста случайно выбранного студента 1-го курса дневного отделения вуза, то с большой долей уверенности можно утверждать, что он окажется менее 30 лет; хотя по положению на дневном отделении могут обучаться лица в возрасте до 35 лет. Гораздо меньшую определенность имеет аналогичный опыт, если проверяется, будет ли возраст произвольно выбранного студента меньше 18 лет. Для практики важно иметь возможность произвести численную оценку неопределенности разных опытов.

Введём количественную меру неопределенности.

Начнём с простой ситуации, когда опыт имеет n равновероятных исходов. Очевидно, что неопределенность каждого из них зависит от n , т.е. мера неопределенности является функцией числа исходов ($f(n)$).

Можно указать некоторые свойства этой функции:

1. $f(1)=0$, поскольку при $n=1$ исход опыта не является случайным и, следовательно, неопределенность отсутствует;

2. $f(n)$ возрастает с ростом n , поскольку чем больше число возможных исходов, тем более затруднительным становится предсказание результата опыта.

Для определения явного вида функции $f(n)$ рассмотрим два независимых опыта α и β (для обозначения опытов со случайными исходами будем использовать греческие буквы (α , β и т.д.), а для обозначения отдельных исходов опытов (событий) – латинские заглавные (A, B и т.д.)) с количествами равновероятных исходов, соответственно n_α , n_β . Пусть имеет место сложный опыт, который состоит в одновременном выполнении опытов α и β ; число возможных его исходов равно $n_\alpha \cdot n_\beta$, причём, все они равновероятны. Очевидно, неопределенность исхода такого сложного опыта $\alpha \wedge \beta$ будет больше неопределенности опыта α , поскольку к ней добавляется неопределенность β ; мера неопределенности сложного опыта равна $f(n_\alpha \cdot n_\beta)$. С другой стороны, меры неопределенности отдельных α и β составляют, соответственно, $f(n_\alpha)$ и $f(n_\beta)$. В первом случае (сложный опыт) проявляется общая (суммарная) неопределенность совместных событий, во втором – неопределенность каждого из событий в отдельности. Однако из независимости α и β следует, что в сложном опыте они никак не могут повлиять друг на друга и, в частности, α не может оказать воздействия на неопределенность β , и наоборот. Следовательно, мера суммарной неопределенности должна быть равна сумме мер неопределенности каждого из опытов, т.е. мера неопределенности аддитивна:

$$f(n_\alpha n_\beta) = f(n_\alpha) + f(n_\beta) \quad (1)$$

Теперь задумаемся о том, каким может быть явный вид функции $f(n)$, чтобы он удовлетворял свойствам (1) и (2) и соотношению (1)? Легко видеть, что такому набору свойств удовлетворяет функция $\log(n)$, причём она единственная из всех существующих классов функций.

За меру неопределенности опыта с n равновероятными исходами можно принять число $\log(n)$.

Следует заметить, что выбор основания логарифма в данном случае значения не имеет, поскольку в силу известной формулы преобразования логарифма от одного основания к другому:

$$\log_n b = \frac{\log_a b}{\log_a n} \quad (2)$$

переход к другому основанию состоит во введении одинакового для обеих частей выражения (1) постоянного множителя $\log_a a$, что равносильно изменению масштаба (т.е. размера единицы) измерения неопределенности. Поскольку это так, мы имеем возможность выбрать удобное для нас (из каких-то дополнительных соображений) основание логарифма. Таким удобным основанием оказывается 2, поскольку в этом случае за единицу измерения принимается неопределенность, содержащаяся в опыте, имеющем лишь два равновероятных исхода, которые можно обозначить, например, **ИСТИНА** (*True*) и **ЛОЖЬ** (*False*) и использовать для анализа таких событий аппарат математической логики.

Единица измерения неопределенности при двух возможных равновероятных исходах опыта называется **бит**

Таким образом, нами установлен явный вид функции, описывающей меру неопределенности опыта, имеющего n равновероятных исходов:

$$f(n) = \log_2 n \quad (3).$$

Эта величина получила название **энтропии**. В дальнейшем будем обозначать её H .

Вновь рассмотрим опыт с n равновероятными исходами. Поскольку каждый исход случаен, он вносит свой вклад в неопределенность всего опыта, но так как все n исходов равнозначны, разумно допустить, что и их неопределенности одинаковы. Из свойства аддитивности неопределенности, а также того, что согласно (3) общая неопределенность равна $\log_2 n$, следует, что неопределенность, вносимая одним исходом составляет

$$\frac{1}{n} \log_2 n = -\frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = -p \log_2 p. \quad (4)$$

где

$$p = \frac{1}{n}$$

– вероятность любого из отдельных исходов.

Таким образом, неопределенность, вносимая каждым из равновероятных исходов, равна:

$$H = -p \log_2 p \quad (5).$$

Теперь попробуем обобщить формулу (5) на ситуацию, когда исходы опытов неравновероятны, например, $p(A_1)$ и $p(A_2)$. Тогда:

$$H_1 = -p(A_1) \log_2 p(A_1) \text{ и } H_2 = -p(A_2) \log_2 p(A_2) \\ H = H_1 + H_2 = -p(A_1) \log_2 p(A_1) - p(A_2) \log_2 p(A_2)$$

Обобщая это выражение на ситуацию, когда опыт α имеет n неравновероятных исходов A_1, A_2, \dots, A_n , получим:

$$H(\alpha) = -\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \quad (6)$$

Введенная таким образом величина называется **энтропией опыта** α . Используя формулу для среднего значения дискретных случайных величин, можно записать:

$$H(\alpha) = -\log_2 p(A^\alpha),$$

где $A(\alpha)$ – обозначает исходы, возможные в опыте.

Энтропия является мерой неопределенности опыта, в котором проявляются случайные события, и равна средней неопределенности всех возможных его исходов.

Для практики формула (6) важна тем, что позволяет сравнить неопределенности различных опытов со случайными исходами.

Пример 1. Имеются два ящика, в каждом из которых по 12 шаров. В первом – 3 белых, 3 черных и 6 красных; во втором – каждого цвета по 4. Опыты состоят в вытаскивании по одному шару из каждого ящика. Что можно сказать относительно неопределенностей исходов этих опытов? Согласно (1.4) находим энтропии обоих опытов:

$$H_\alpha = -\frac{3}{12} \log_2 \frac{3}{12} - \frac{3}{12} \log_2 \frac{3}{12} - \frac{6}{12} \log_2 \frac{6}{12} = 1,50 \text{ бит}$$

$$H_\beta = -\frac{4}{12} \log_2 \frac{4}{12} - \frac{4}{12} \log_2 \frac{4}{12} - \frac{4}{12} \log_2 \frac{4}{12} = 1,50 \text{ бит}$$

$H_\beta > H_\alpha$, т.е. неопределенность результата в опыте β выше и, следовательно, предсказать его можно с меньшей долей уверенности, чем результат α .

Напомним свойства информационной энтропии (они аналогичны свойствам физической энтропии).

1. Как следует из (6), $H = 0$ только в двух случаях:

какая-либо из $p(A_i)=1$; однако, при этом следует, что все остальные $p(A_i)=0$ ($i \neq j$), т.е. реализуется ситуация, когда один из исходов является достоверным (и общий итог опыта перестает быть случайным); все $p(A_i)=0$, т.е. никакие из рассматриваемых исходов опыта невозможны, поскольку нетрудно показать, что:

$$\lim_{p \rightarrow 0} (p \cdot \log p) = 0.$$

Во всех остальных случаях, очевидно, что $H > 0$.

2. Очевидным следствием (1) будет утверждение, что для двух независимых опытов α и β

$$H(\alpha \wedge \beta) = H(\alpha) + H(\beta) \quad (7)$$

3. Энтропия сложного опыта, состоящего из нескольких независимых, равна сумме энтропий отдельных опытов.

В справедливости (7) можно убедиться непосредственно.

Пусть опыт α имеет n исходов A_1, A_2, \dots, A_n , которые реализуются с вероятностями $p(A_1), p(A_2), \dots, p(A_n)$, а событие β – m исходов B_1, B_2, \dots, B_m с вероятностями $p(B_1), p(B_2), \dots, p(B_m)$. Сложный опыт $\alpha \wedge \beta$ имеет $n \cdot m$ исходов типа $A_i B_j$ ($i=1 \dots n, j=1 \dots m$). Следовательно:

$$H(\alpha \wedge \beta) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i \wedge B_j) \cdot \log_2 p(A_i \wedge B_j) \quad (8)$$

Поскольку α и β – независимы, то независимыми окажутся события в любой паре $A_i \wedge B_j$. Тогда:

$$p(A_i \wedge B_j) = p(A_i) \cdot p(B_j) \text{ и } \log_2 p(A_i \wedge B_j) = \log_2 p(A_i) + \log_2 p(B_j)$$

$$H(\alpha \wedge \beta) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i) p(B_j) \cdot \{\log_2 p(A_i) + \log_2 p(B_j)\} = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i) p(B_j) \cdot \log_2 p(A_i) = \\ = -\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \sum_{j=1}^m p(B_j) - \sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \cdot \log_2 p(B_j) \sum_{j=1}^m p(B_j) =$$

В слагаемых произведено изменение порядка суммирования в соответствии со значениями индексов. Далее, по условию нормировки:

$$\sum_{i=1}^n p(A_i) = 1 \text{ и } \sum_{j=1}^m p(B_j) = 1$$

а из (8)

$$-\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) = H(\alpha) \quad \text{и} \quad -\sum_{i=1}^n p(B_i) \cdot \log_2 p(B_i) = H[\beta]$$

Окончательно имеем:

$$H(\alpha \wedge \beta) = H(\alpha) + H(\beta)$$

что и требовалось доказать.

Пусть имеется два опыта с одинаковым числом исходов n , но в одном случае они равновероятны, а в другом – нет. Каково соотношение энтропий опытов? Примем без доказательства следующее утверждение:

$$-\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \leq \log_2 n \quad (9)$$

При прочих равных условиях наибольшую энтропию имеет опыт с равновероятными исходами.

Энтропия максимальна в опытах, где все исходы равновероятны. Здесь усматривается аналогия с понятием энтропии, используемой в физике, где энтропия – мера беспорядка в системе. При этом беспорядок понимается как отсутствие знания о характеристиках объекта (например, координат и скорости молекулы); с ростом энтропии уменьшается порядок в системе, т.е. наши знания о ней.

Перейдём теперь к понятию условной энтропии.

Найдем энтропию сложного опыта $\alpha \wedge \beta$ в том случае, если опыты не являются независимыми, т.е. если на исход β оказывает влияние результат опыта α . Например, если в ящике всего два разноцветных шара и α состоит в извлечении первого, а β – второго из них, то полностью снимает неопределенность сложного опыта $\alpha \wedge \beta$, т.е. оказывается $H(\alpha \wedge \beta) = H(\alpha)$, а не сумме энтропии, как следует из (7).

Связь между α и β $A^{(\alpha)}$ может оказать влияние на исходы $B^{(\beta)}$, т.е. некоторые пары событий $A_i \wedge B_j$ не являются независимыми. Но тогда в (1.6) $p(A_i \wedge B_j)$ следует заменять не произведением вероятностей, а, согласно:

$$P_i(A_i \wedge B_j) = p(A_i) \cdot p(B_j),$$

где $p(A_i|B_j)$ – вероятность наступления исхода B_j при условии, что в первом опыте имел место исход A_i . Тогда:

$$\log_2 p(A_i \wedge B_j) = \log_2 p(A_i) + \log_2 p(A_i|B_j)$$

При подстановке в (1.6) получаем:

$$\begin{aligned} H(\alpha \wedge \beta) &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i) p_{A_i}(B_j) \cdot \{\log_2 p(A_i) + \log_2 p_{A_i}(B_j)\} = \\ &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i) p_{A_i}(B_j) \cdot \log_2 p(A_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(A_i) p_{A_i}(B_j) \cdot \log_2 p_{A_i}(B_j) \end{aligned}$$

В первом слагаемом индекс j имеется только у B ; изменив порядок суммирования, получим члены вида:

$$\sum_{j=1}^m p_{A_i}(B_j)$$

Однако,

$$\sum_{j=1}^m p_{A_i}(B_j) = p_{A_i}\left(\sum_{j=1}^m B_j\right) = 1$$

поскольку

$$\sum_{j=1}^m B_j$$

образует достоверное событие (какой-либо из исходов опыта) при условии, что в опыте реализовался исход A_i – будем называть её **условной энтропией**. Если ввести данное понятие и использовать его обозначение, то второе слагаемое будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot H_{A_i}(\beta) = H_{\alpha}(\beta) \quad (10)$$

где $H_{\alpha}(\beta)$ есть средняя условная энтропия опыта β при условии выполнении опыта α .

Окончательно получаем для энтропии сложного опыта:

$$H(\alpha \wedge \beta) = H(\alpha) + H_{\alpha}(\beta) \quad (11)$$

Полученное выражение представляет собой общее правило нахождения энтропии сложного опыта.

Относительно условной энтропии можно высказать следующие утверждения:

1. Условная энтропия является величиной неотрицательной. $H_\alpha(\beta)=0$ только в том случае, если любой исход α полностью определяет исход β (как в примере с двумя шарами), т.е.

$$H_{A1}(\beta)=H_{A2}(\beta)=\dots=H_{An}(\beta)=0$$

В этом случае $H(\alpha\wedge\beta)=H(\alpha)$.

2. Если опыты α и β независимы, то $H_\alpha(\beta)=H(\beta)$, причём это оказывается наибольшим значением условной энтропии. Другими словами, опыт α не может повысить неопределенность опыта β ; он может либо не оказать никакого влияния (если опыты независимы), либо понизить энтропию β .

Приведенные утверждения можно объединить одним неравенством:

$$0\leq H_\alpha(\beta)\leq H(\beta) \quad (12)$$

т.е. условная энтропия не превосходит безусловную.

3. $H(\alpha\wedge\beta)\leq H(\alpha)+H(\beta)$ (13)

причем равенство реализуется только в том случае, если опыты α и β независимы.

Пример 1. В ящике имеются 2 белых шара и 4 чёрных. Из ящика извлекают последовательно два шара без возврата. Найти энтропию, связанную с первым и вторым извлечениями, а также энтропию обоих извлечений. Будем считать опытом α извлечение первого шара. Он имеет два исхода: A_1 – вынут белый шар; его вероятность $p(A_1) = 2/6 = 1/3$; исход A_2 – вынут чёрный шар; его вероятность $p(A_2)=1 - p(A_1) = 2/3$. Эти данные позволяют сразу найти $H(\alpha)$:

$$H(\alpha) = -p(A_1)\log_2 p(A_1) - p(A_2)\log_2 p(A_2) = -1/3 \log_2 1/3 - 2/3 \log_2 2/3 = 0,918 \text{ бит}$$

Опыт β – извлечение второго шара также имеет два исхода: B_1 – вынут белый шар; B_2 – вынут чёрный шар, однако их вероятности будут зависеть от того, каким был исход опыта α . В частности:

$$\text{при } A_1: p_{A1}(B_1)=1/5; p_{A1}(B_2)=4/5$$

$$\text{при } A_2: p_{A2}(B_1)=2/5; p_{A2}(B_2)=3/5$$

Следовательно, энтропия, связанная со вторым опытом, является условной и равна:

$$H_{A1}(\beta)=-1/5\log_2 4/5-4/5\log_2 1/5=0,722 \text{ бит},$$

$$H_{A2}(\beta)=-2/5\log_2 2/5-3/5\log_2 3/5=0,971 \text{ бит},$$

$$H_\alpha(\beta)=p(A_1)*H_{A1}(\beta)+p(A_2)*H_{A2}(\beta)=1/3*0,722+2/3*0,971=0,888 \text{ бит}$$

Наконец, из (1.10): $H(\alpha\wedge\beta) = 0,918 + 0,888 = 1,806 \text{ бит}$.

Пример 2. Имеется три тела с одинаковыми внешними размерами, но с разными массами x_1 , x_2 и x_3 . Необходимо определить энтропию, связанную с нахождением наиболее тяжелого из них, если сравнивать веса тел можно только попарно. Последовательность действий достаточно очевидна: сравниваем вес двух любых тел, определяем из них более тяжелое, затем с ним сравниваем вес третьего тела и выбираем наибольший из них. Поскольку внешне тела неразличимы, выбор номеров тел при взвешивании будет случаен, однако общий результат от этого выбора не зависит. Пусть опыт α состоит в сравнении веса двух тел, например, 1-го и 2-го. Этот опыт, очевидно, может иметь два исхода: $A_1-x_1>x_2$; его вероятность $p(A_1) = 1/2$; исход $A_2-x_1<x_2$; также его вероятность $p(A_2)=1/2$.

$$H(\alpha\wedge\beta) = -1/2 \log_2 1/2 - 1/2 \log_2 1/2 = 1 \text{ бит}$$

Опыт β – сравнение весов тела, выбранного в опыте α , и 3-го – имеет четыре исхода: $B_1-x_1>x_3$, $B_2-x_1<x_3$, $B_3-x_2>x_3$, $B_4-x_2<x_3$; вероятности исходов зависят от реализовавшегося исхода α – для удобства представим их в виде таблицы:

B_1	B_2	B_3	B_4	
1/2	1/2	0	0	A_1
0	0	1/2	1/2	A_2

Вновь, воспользовавшись формулами (1.8) и (1.9), находим:

$$H_{A1}(\beta)=-1/2\log_2 1/2-1/2\log_2 1/2=1 \text{ бит}$$

$$H_{A2}(\beta)=-1/2\log_2 1/2-1/2\log_2 1/2=1 \text{ бит}$$

$$H_\alpha(\beta)=p(A_1)*H_{A1}(\beta)+p(A_2)*H_{A2}(\beta)=1/2*1+1/2*1=1 \text{ бит}$$

Следовательно, энтропия сложного опыта, т.е. всей процедуры испытаний:

$$H(\alpha\wedge\beta)=H(\alpha)+H_\alpha(\beta)=2 \text{ бит}$$

Из примера видно как предшествующий опыт (α) может уменьшить количество исходов и, следовательно, неопределенность последующего опыта (β). Разность $H(\beta)$ и $H_\alpha(\beta)$ показывает, какие новые сведения мы получаем, произведя опыт α . Эта величина называется *информацией относительно опыта β , содержащейся в опыте α* .

$$I(\alpha, \beta)=H(\beta)+H_\alpha(\beta) \quad (14)$$

Данное выражение открывает возможность численного измерения количества информации, поскольку оценивать энтропию мы уже умеем. Из него легко получить ряд следствий.

Следствие 1. Поскольку единицей измерения энтропии является бит, то в этих же единицах может быть измерено количество информации.

Следствие 2. Пусть опыт $\alpha=\beta$, т.е. просто произведен опыт β . Поскольку он несёт полную информацию о себе самом, неопределенность его исхода полностью снимается, т.е. $H_\beta = 0$. Тогда $I(\alpha, \beta) = H(\beta)$, т.е. можно считать, что энтропия равна информации относительно опыта, которая содержится в нем самом.

Энтропия опыта равна той информации, которую мы получаем в результате его осуществления.

Отметим ряд свойств информации.

1. $I(\alpha, \beta) \geq 0$, причем $I(\alpha, \beta) = 0$ тогда и только тогда, когда опыты α и β независимы.
2. $I(\alpha, \beta) = I(\beta, \alpha)$, т.е. информация симметрична относительно последовательности опытов.
3. Следствие 2:

$$I = -\sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \quad (15)$$

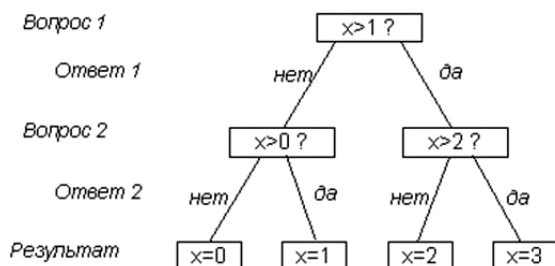
т.е. информация опыта равна среднему значению количества информации, содержащейся в каком-либо одном его исходе.

Рассмотрим ряд примеров применения формулы (15).

Пример 1. Какое количество информации требуется, чтобы узнать исход броска монеты? В данном случае $n=2$ и события равновероятны, т.е. $p_1=p_2=0,5$. Согласно (1.14):

$$I = -0,5 \cdot \log_2 0,5 - 0,5 \cdot \log_2 0,5 = 1 \text{ бит}$$

Пример 2. Игра "Угадай-ка – 4". Некто задумал целое число в интервале от 0 до 3. Наш опыт состоит в угадывании этого числа. На наши вопросы Некто может отвечать лишь "Да" или "Нет". Какое количество информации мы должны получить, чтобы узнать задуманное число, т.е. полностью снять начальную неопределенность? Как правильно построить процесс угадывания? Исходами в данном случае являются: A_1 – "задуман 0", A_2 – "задумана 1", A_3 – "задумана 2", A_4 – "задумана 3". Конечно, предполагается, что вероятности быть задуманными у всех чисел одинаковы. Поскольку $n = 4$, следовательно, $p(A_i)=1/4$, $\log_2 p(A_i)=-2$ и $I=2$ бит. Таким образом, для полного снятия неопределенности опыта (угадывания задуманного числа) нам необходимо 2 бита информации. Теперь выясним, какие вопросы необходимо задать, чтобы процесс угадывания был оптимальным, т.е. содержал минимальное их число. Здесь удобно воспользоваться так называемым **выборочным каскадом**:



Таким образом, для решения задачи оказалось достаточно 2-х вопросов независимо от того, какое число было задумано. Совпадение между количеством информации и числом вопросов с бинарными ответами неслучайно. Количество информации численно равно числу вопросов с равновероятными бинарными вариантами ответов, которые необходимо задать, чтобы полностью снять неопределенность задачи.

В рассмотренном примере два полученных ответа в выборочном каскаде полностью сняли начальную неопределённость. Подобная процедура позволяет определить количество информации в любой задаче, интерпретация

которой может быть сведена к парному выбору. Например, определение символа некоторого алфавита, использованного для представления сообщения. Приведённое утверждение перестает быть справедливым в том случае, если каждый из двух возможных ответов имеет разную вероятность – такая ситуация будет рассмотрена позднее.

Легко получить следствие формулы (15) для случая, когда все n исходов равновероятны (собственно, именно такие и рассматривались в примерах 1 и 2. В этом случае все

$$p(A_i) = \frac{1}{n} \text{ и, следовательно, } I = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} * \log_2 n = \log_2 n,$$

$$I = \log_2 n \quad (16)$$

Эта формула была выведена в 1928 американским инженером *Р.Хартли* и носит его имя. Она связывает количество равновероятных состояний (n) и количество информации в сообщении (I), что любое из этих состояний реализовалось. Её смысл в том, что, если некоторое множество содержит n элементов и x принадлежит данному множеству, то для его выделения (однозначной идентификации) среди прочих требуется количество информации, равное $\log_2 n$.

Частным случаем применения формулы (16) является ситуация, когда $n=2^K$; подставляя это значение в (16), очевидно, получим:

$$I = K \text{ бит} \quad (17)$$

Именно эта ситуация реализовалась в примерах 1 и 2. Анализируя результаты решения, можно прийти к выводу, что K как раз равно количеству вопросов с бинарными равновероятными ответами, которые определяли количество информации в задачах.

Пример 3. Случайным образом вынимается карта из колоды в 32 карты. Какое количество информации требуется, чтобы угадать, что это за карта? Как построить угадывание? Для данной ситуации $n = 2^5$, значит, $K = 5$ и, следовательно, $I = 5$ бит.

Пример 4. В некоторой местности имеются две близкорасположенные деревни: A и B . Известно, что жители A всегда говорят правду, а жители B – всегда лгут. Известно также, что жители обеих деревень любят ходить друг к другу в гости, поэтому в каждой из деревень можно встретить жителя соседней деревни. Путешественник, сбившись ночью с пути, оказался в одной из двух деревень и, заговорив с первым встречным, захотел выяснить, в какой деревне он находится и откуда его собеседник. Какое минимальное количество вопросов с бинарными ответами требуется задать путешественнику? Количество возможных комбинаций, очевидно, равно 4 (путешественник в A , собеседник из A ; путешественник в A , собеседник из B ; и т.д.), т.е. $n = 2^2$ и, следовательно, значит, $k = 2$.

Выражение (15) является статистическим определением понятия «информация», поскольку в него входят вероятности возможных исходов опыта. Это операционное определение новой величины, которое устанавливает процедуру (способ) измерения величины. В науке именно такой метод введения новых терминов считается предпочтительным, поскольку то, что не может быть измерено, не может быть проверено и, следовательно, заслуживает меньшего доверия. Из (14) следует: если начальная энтропия опыта H_1 , а в результате сообщения информации I энтропия становится равной H_2 (очевидно, $H_1 \geq H_2$), то

$$I = H_1 - H_2,$$

т.е. информация равна убыли энтропии. В частном случае, если изначально равновероятных исходов было n_1 , а в результате передачи информации I неопределенность уменьшилась, и число исходов стало n_2 (очевидно, $n_2 \leq n_1$), то из (16) легко получить:

$$I = \log_2 n_1 - \log_2 n_2 = \log_2 \frac{n_1}{n_2} \quad (17)$$

Информация – это содержание сообщения, понижающего неопределенность некоторого опыта с неоднозначным исходом; убыль связанной с ним энтропии является количественной мерой информации. В случае равновероятных исходов информация равна логарифму отношения числа возможных исходов до и после получения сообщения.

В статистической механике энтропия характеризует неопределенность, связанную с недостатком информации о состоянии системы. Наибольшей оказывается энтропия у равновесной полностью беспорядочной системы – о её состоянии наша осведомленность минимальна. Упорядочение системы связано с получением дополнительной информации и уменьшением энтропии. В теории информации энтропия также отражает неопределенность, однако, это неопределенность иного рода – она связана с незнанием результата опыта с набором случайных возможных исходов. Таким образом, хотя между энтропией в физике и информатике много общего, необходимо сознавать и различие этих понятий.

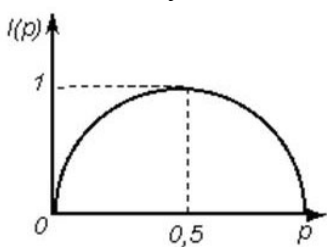
Следствием аддитивности энтропии независимых опытов оказывается аддитивность информации. Если с выбором одного из элементов (x_A) множества A , содержащего n_A элементов, связано $I_A = \log_2 n_A$ информации, а с выбором x_B из B с n_B элементами информации связано $I_B = \log_2 n_B$ и второй выбор никак не связан с первым, то при объединении множеств число возможных состояний будет $n = n_A \cdot n_B$ и для выбора комбинации $x_A x_B$ потребуется количество информации:

$$I = \log_2 n = \log_2 n_A n_B = \log_2 n_A + \log_2 n_B = I_A + I_B$$

Вернёмся к утверждению о том, что количество информации может быть измерено числом вопросов с двумя равновероятными ответами. Означает ли это, что I должна быть всегда величиной целой? Из формулы Хартли (1.15), как было показано, $I = K$ бит (т.е. целому числу бит) только в случае $n = 2^K$. А в остальных ситуациях? Например, при игре «Угадай-ка – 7» (угадать число от 0 до 6) нужно в выборочном каскаде задать $m \log_2 7 = 2,807 < \log_2 8 = 3$, т.е. необходимо задать три вопроса, поскольку количество вопросов – целое число. Однако представим, что мы одновременно играем в шесть таких игр. Тогда необходимо отгадать одну из возможных комбинаций, которых всего $N = n_1 \cdot n_2 \dots n_6 = 7^6 = 117649 < 2^{17} = 131072$.

Следовательно, для угадывания всей шестизначной комбинации требуется $I = 17$ бит информации, т.е. нужно задать 17 вопросов. В среднем на одну игру приходится $17/3 = 2,833$ вопроса, что близко к значению $\log_2 7$. Таким образом, величина I , определяемая по числу ответов, показывает, сколько в среднем необходимо сделать парных выборов для установления результата (полного снятия неопределенности), если опыт повторить многократно ($n \rightarrow \infty$).

Заметим, что не всегда с каждым из ответов на вопрос, имеющий только два варианта ответа (будем далее называть такие вопросы бинарными), связан ровно 1 бит информации.



Рассмотрим опыт, реализующийся посредством двух случайных событий; поскольку их всего два, очевидно, они являются дополнительными друг другу. Если эти события равновероятны, $p_1=p_2=1/2$, и $I=1$ бит, как следует из формулы Хартли и (1.14). Однако, если их вероятности различны: $p_1=p$, и, согласно $p_2=1-p$, то из (1.14) $I(p)=-p\cdot\log_2 p-(1-p)\cdot\log_2(1-p)$. Легко показать, что при $p\rightarrow 0$ и при $p\rightarrow 1$ функция $I(p)\rightarrow 0$. Ситуация может быть проиллюстрирована графиком, из которого, в частности, видно, что кривая симметрична относительно $p=0,5$ и достигает максимума при этом значении. Если теперь считать, что событие 1 – это утвердительный ответ на бинарный вопрос, а событие 2 – отрицательный, то мы приходим к заключению:

Ответ на бинарный вопрос может содержать не более 1 бита информации; информация равна 1 бит только для равновероятных ответов; в остальных случаях она меньше 1 бита.

Пример 5. При угадывании результата броска игральной кости задается вопрос "Выпало 6?". Какое количество информации содержит ответ? $p=1/6$, $1-p=5/6$, следовательно, из (1.14) $I=-1/6\cdot\log_2 1/6-5/6\cdot\log_2 5/6=0,65$ бит < 1 бита. Из этого примера видна также ошибочность утверждения, встречающегося в некоторых учебниках информатики, что 1 бит является минимальным количеством информации – никаких оснований для такого утверждения в теории информации нет.

Формула (1.14) приводит нас еще к одному выводу. Пусть некоторый опыт имеет два исхода A и B , причём $p_A=0,99$, а $p_B=0,01$. В случае исхода A мы получим количество информации $I_A=-\log_2 0,99=0,0145$ бит. В случае исхода B количество информации оказывается равным $I_B=-\log_2 0,01=6,644$ бит. Больше информации связано с теми исходами, которые менее вероятны. Действительно, то, что наступит именно A , мы почти наверняка знали и до опыта; поэтому реализация такого исхода мало добавляет к нашей осведомленности. Наоборот, исход B – весьма редкий; информации с ним связано больше (осуществилось трудно ожидаемое событие). Однако такое большое количество информации мы будем при повторях опыта получать редко, поскольку мала вероятность B . Среднее же количество информации равно $I=0,99\cdot I_A+0,01\cdot I_B=0,081$ бит.

Нами рассмотрен вероятностный подход к определению количества информации. Он не является единственным. Количество информации можно связать с числом знаков в дискретном сообщении – такой способ измерения называется *объёмным*. Можно доказать, что при любом варианте кодирования информации $I_{\text{вер}} \leq I_{\text{об}}$.

1.2 Теория информации Шеннона

Информация имеет две стороны: количественную и качественную. Иногда важным является общее количество информации, а иногда – качественный вид сообщения, его конкретное содержание. Кроме того, переработка информации из одного вида в другой является технически более сложной задачей, чем, скажем, превращение энергии из одной формы в другую. Всё это затрудняет разработку теории информации и её использование.

Важнейшим этапом развития теории информации явились работы Клода Шеннона (1948). И по постановке задачи, и по результатам они были восприняты как неожиданность. Однако быстро стало ясно, что новая теории развивает идеи статистической термодинамики Л. Больцмана. Не случайной является глубокая общность математического аппарата этих двух направлений, доходящая до прямого совпадения формул (например, для энтропии дискретных случайных величин). Да и логарифмическая мера для количества информации, являющаяся исходной в теории Шеннона, была предложена Хартли применительно к задачам связи ещё в 1928.

Наиболее известным является вероятностный подход к измерению информации, на основе которого разработан обширный раздел количественной теории информации (теория информации Шеннона). Отличительной особенностью вероятностного подхода от комбинаторного является то, что он основан на вероятностных допущениях относительно пребывания какой-либо системы в различных состояниях, а общее число элементов (микросостояний) системы не учитывается. За количество информации принимается снятая неопределенность выбора из множества возможностей, имеющих различную вероятность. Основополагающая роль в вероятностном подходе принадлежит энтропии множества вероятностей. Предлагая для измерения количества информации свою знаменитую энтропийную меру, Шеннон руководствовался следующими соображениями. «Предположим, что имеется некоторое множество возможных событий, вероятности осуществления которых суть p_1, p_2, \dots, p_n . Эти вероятности известны, но это – все, что нам известно относительно того, какое событие произойдет. Можно ли найти меру того, насколько велик выбор из такого набора событий или сколь неопределенен для нас его исход?».

Для такой меры H выдвигается требование: она должна обладать следующими тремя свойствами.

1. H должна быть непрерывной относительно p_i .
2. Если все p_i равны, то H должна быть монотонно возрастающей функцией от n .
3. Если выбор распадается на два последовательных выбора, то первоначальная H должна быть взвешенной суммой индивидуальных значений H каждого из выборов.

Последнее свойство поясняется **Рис 3**, где показаны две ситуации выбора из трёх возможностей, имеющих вероятности $p_1 = \frac{1}{2}$, $p_2 = \frac{1}{3}$, $p_3 = \frac{1}{6}$. В левой ситуации выбор любой возможности является однократным, а в правой ситуации в двух случаях из трех необходимо предварительно сделать соответствующий дополнительный выбор из двух равновероятных возможностей.

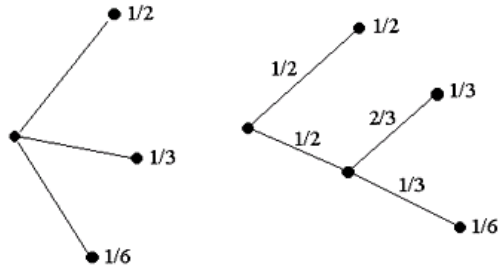


Рис. . Выбор из трёх возможностей

Согласно третьему свойству в левой и правой ситуациях значения H должны быть одинаковы, что выражается следующим образом:

$$H\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{6}\right) = H\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}H\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right), \quad (18)$$

где коэффициент $1/2$ является весовым множителем, указывающим, что второй выбор выполняется только в половине случаев.

Понятие количества информации тесно связано с понятием энтропии, являющейся мерой неопределённости. Приобретение информации сопровождается уменьшением неопределённости, поэтому количество можно измерять количеством исчезнувшей неопределённости, т.е. энтропии.

В случае дискретного сообщения, т.е. дискретной случайной величины, энтропия определяется формулой Больцмана

$$H_{\xi} = -\sum_{\xi} P(\xi) \ln P(\xi), \quad (19)$$

где ξ - случайная величина, а $P(\xi)$ – её распределение вероятностей.

Шеннон доказал теорему: существует единственная функция H , удовлетворяющая трём перечисленным выше свойствам. При этом H имеет вид:

$$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (20)$$

где K – некоторая положительная постоянная.

Форма полученной функции H проявила определенную степень подобия с термодинамической энтропией Больцмана, на основании чего и по совету Дж. Наймана Шеннон назвал функцию H энтропией множества вероятностей, утверждая при этом, что «она является разумной количественной мерой возможности выбора или мерой количества информации».

Если все вероятности равны между собой, информационная мера Шеннона сводится к двоичному логарифму Хартли от числа возможностей:

$$H(p_i = \text{const}) = \log_2 n.$$

Последнее свидетельствует о том, что во взаимоотношениях вероятностного и комбинаторного подходов соблюдается принцип соответствия, согласно которому «новая теория, претендующая на более широкую область применимости, чем старая, должна включать последнюю как предельный случай».

Отметим, что на основании информационно-энтропийной меры (20) содержательно оформилась и единица измерения количества информации «бит». Причём в математическом отношении $1 \text{ бит} = \log_2 2$, а в содержательной информационно-вероятностной интерпретации, исходя из того, что при $n=2$ имеет место неравенство $0 < H \leq 1$, 1 бит представляет собой максимальную энтропию выбора из двух возможностей. Менее строгим, но более распространенным, является понимание бита, как максимального количества информации, которое можно получить при ответе на вопрос в форме «да» - «нет».

Формула Шеннона может быть представлена как математическое ожидание величины $(-\log_2 p)$:

$$H = M[-\log_2 p],$$

откуда частная информация $I(x_i)$, получаемая от отдельного события, состоящего в том, что некоторая система X находится в состоянии x_i имеет вид:

$$I(x_i) = -\log_2 p_i \quad (21)$$

Когда рассматриваются две взаимосвязанные системы X и Y , частная информация $I(y_i \rightarrow X)$, содержащаяся в событии y_j относительно системы X , выражается следующим образом:

$$I(y_i \rightarrow X) = \sum_{i=1}^n p(x_i | y_i) \log_2 \frac{p(x_i | y_i)}{p_i}, \quad (22)$$

где $p(x_i | y_j)$ - условная вероятность x_i при наступлении y_j .

Из анализа выражения (22) выводится частная информация $I(y_j \rightarrow x_i)$ о событии x_i , содержащаяся в событии y_j :

$$I(y_j \rightarrow x_i) = \log_2 \frac{p(x_i | y_i)}{p_i} \quad (23)$$

Частная информация $I(y_j \rightarrow x_i)$ имеет название «информация от события к событию» и интерпретируется следующим образом: «Частная информация о событии, получаемая в результате сообщения о другом событии, равна логарифму отношения вероятности первого события после сообщения к его же вероятности до сообщения».

Нетрудно видеть, что информация от события к событию может иметь как положительные, так и отрицательные значения, то есть:

$$p(x_i | y_j) > p_i \rightarrow I(y_j \rightarrow x_i) > 0 \text{ и } p(x_i | y_j) < p_i \rightarrow I(y_j \rightarrow x_i) < 0$$

Приведенная характеристика вероятностного подхода к определению количества информации относится к дискретным средам. Так как любая непрерывная среда может быть представлена в дискретном виде, то возможен вероятностный подход к измерению информации для случая непрерывных сред. Он разработан Н. Винером, который исходил из того, что в кибернетических системах элементарной формой информации является запоминание выбора одной из двух равновероятных возможностей, который он называл решением. Если известно, что значение некоторой непрерывной величины находится внутри интервала $(0, 1)$ и стоит задача совершенно точно определить это значение, то количество выборов, которое необходимо при этом сделать, выражается бесконечной двоичной дробью:

$$0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots = \frac{1}{2} a_1 + \frac{1}{2^2} a_2 + \dots + \frac{1}{2^n} a_n + \dots$$

где a_n имеет значение 0 или 1.

В действительности никакое измерение непрерывной величины не может быть совершенно точным. Винер пишет: «Если измерение имеет равномерно распределенную ошибку, лежащую в интервале длины 0, b_1, \dots, b_n , где b_k есть первый разряд, не равный 0, то, очевидно, все решения от a_1 до a_{k-1} и, возможно, до a_k будут значащими, а все последующие нет. Число принятых решений близко

$$\log_2 \frac{1}{0, b_1, b_2, \dots, b_n, \dots}. \quad (24)$$

Мы примем это выражение за точную формулу количества информации и за его определение.

Выражение (19) имеет следующую авторскую интерпретацию: «Мы знаем априори, что некоторая переменная лежит между нулем и единицей, и знаем апостериори, что она лежит в интервале (a, b) внутри интервала $(0, 1)$. Тогда количество информации (I), полученное нами из апостериорного знания, равно»:

$$I = -\log_2 \frac{\text{мера интервала}(a, b)}{\text{мера интервала}(0, 1)} \quad (25)$$

В том случае, когда априорно известно, что вероятность нахождения определяемой величины между x и $x+dx$ равна $f_1(x)dx$, а апостериорная вероятность равна $f_2(x)dx$, то для оценки информации, которую даёт апостериорная вероятность, следует использовать формулу:

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} [\log_2 f_1(x)] f_1(x) dx \quad (26)$$

При квантовании интервалов каким-либо образом формулы Винера (25) и (26) сводятся соответственно к двоичному логарифму Хартли и энтропии Шеннона. Причём в последнем случае тот факт, что в формуле Шеннона имеется отрицательный множитель (-1) , а в формуле Винера его нет, принципиального значения не имеет. Это наглядно показал Р.Эшби на примере двух способов измерения расстояний с помощью линейки.

На **Рис. 4** показаны две линейки W и S (W и S – начальные буквы фамилий Винер и Шеннон на английском языке). Даны две точки P и Q , соответствующие состояниям неопределенности до (P) и после

(Q) получения сообщений. Естественно, что количество информации, получаемое в результате сообщения, равно расстоянию PQ , которое может быть измерено двумя эквивалентными способами.

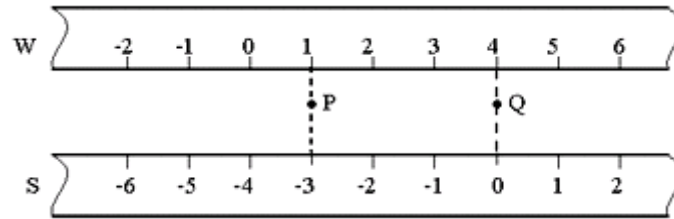


Рис. 4. Измерение расстояния между точками P и Q с помощью двух линеек W и S .

По способу Пинера линейка W прикладывается к точкам P и Q произвольным образом, а расстояние PQ определяется как разность отсчетов: (*отсчёт для Q*) минус (*отсчёт для P*). По способу Шеннона линейка S прикладывается строго определенным образом, а именно – нуль совмещается с точкой Q и тогда расстояние PQ определяется как: минус (*отсчёт для P*). То есть принципиального различия в измерении количества информации по способам Винера и Шеннона не существует.

Формула частной информации, выражаемая логарифмом вероятности (21), даёт

$$I(B) = -\log_2 \frac{m(B)}{m(A)} = \log_2 m(A) - \log_2 m(B)$$

- приложение формулы Бриллюэна.

Практическое использование информации «от события к событию» ограничено только тем числом случаев, когда познающего субъекта интересует количественный аспект прагматической ценности получаемых сведений. То есть, если полученная информация приближает субъекта к достижению некоторой утилитарной цели, то её количественная оценка по формуле (23) является положительной, а если она отдаляет от достижения цели, то и оценка её отрицательна.

Пример. В урне 3 белых и 4 чёрных шара. Из урны вынуто 4 шара, три из них оказались чёрными, а один – белым. Определить информацию, заключенную в наблюдаемом событии B по отношению к событию A - следующий вынутый из урны шар будет чёрным. Решение по формуле (23) даёт

$$I(B \rightarrow A) = \log_2 \frac{1/3}{4/7} = -0,779 \text{ (бит)}$$

Информация оказалась отрицательной!

Вероятностный подход к определению количества информации, основанный на формуле Шеннона (16), не даёт удовлетворительных способов оценки негэнтропии отражения системных объектов. Столь общий многообразный объект, как информация, не может допускать единого метода численного измерения, а идеи Шеннона обоснованы лишь в применении к той важной, но всё же ограниченной ситуации, когда рассматриваются оптимальные методы кодирования и декодирования информации в целях передачи её по каналам связи или её хранения. Шеннон, понимавший ограниченность сферы приложения вероятностной теории информации, писал: «Сознавая, что теория информации является сильным средством решения проблем теории связи, нельзя забывать, что она не является панацеей для инженера-связиста, а тем более для представителей всех других специальностей».

1.3 Количество дискретной и непрерывной информации

В основе теории информации лежит предложенный Шенноном способ измерения количества информации, содержащейся в одной случайной величине, относительно другой случайной величины. Этот способ приводит к выражению количества информации числом.

Для дискретных случайных величин X и Y , заданных законами распределения, $P(X = X_i) = p_i$, $P(Y = Y_j) = q_j$ и совместным распределением $P(X = X_i, Y = Y_j) = p_{ij}$, количество информации, содержащейся в X относительно Y , равно

$$I(X, Y) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i q_j}. \quad (24)$$

Для непрерывных случайных величин, X и Y , заданных плотностями распределения вероятностей $p_X(t_1)$, $p_Y(t_2)$ и $p_{XY}(t_1, t_2)$ и, аналогичная формула имеет вид

$$I(X, Y) = \iint_{R^2} p_{XY}(t_1, t_2) \log_2 \frac{p_{XY}(t_1, t_2)}{p_X(t_1)p_Y(t_2)}. \quad (26)$$

Очевидно, что

$$P(X = X_i, X = X_j) = \begin{cases} 0, & \text{при } i \neq j \\ P(X = X_i), & \text{при } i = j \end{cases}$$

и, следовательно,

$$I(X, X) = \sum_i p_i \log_2 \frac{p_i}{p_i p_i} = -\sum_i p_i \log_2 p_i. \quad (27)$$

Энтропия дискретной случайной величины X в теории информации определяется формулой

$$H(X) = HX = I(X, X). \quad (28)$$

Свойства меры информации и энтропии:

1. $I(X, Y) \geq 0$, $I(X, Y) = 0 \Leftrightarrow X$ и Y независимы;
2. $I(X, Y) = I(Y, X)$;
3. $HX = 0 \Leftrightarrow X$ - константа;
4. $I(X, Y) = HX + HY - H(X, Y)$ где $H(X, Y) = -\sum_{i,j} \log p_{ij}$
5. $I(X, Y) \leq I(X, X)$. Если $I(X, Y) = I(X, X)$, то X - функция от Y . Если X - инъективная функция от Y , то $I(X, Y) = I(X, X)$.

1. Логарифмированием из очевидного для всех x неравенства $e^{x-1} \geq x$ (равенство устанавливается только при $x=1$) получается неравенство $x-1 \geq \ln x$ или $\frac{x-1}{\ln 2} \geq \log_2 x$.

$$\begin{aligned} -I(X, Y) &= \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_i q_j}{p_{ij}} \leq \sum_{i,j} p_{ij} \frac{\frac{p_i q_j}{p_{ij}} - 1}{\ln 2} = \\ &= \sum_{i,j} \frac{p_i q_j - p_{ij}}{\ln 2} = \frac{\sum_i p_i \sum_j q_j - \sum_{i,j} p_{ij}}{\ln 2} = \frac{1 - 1}{\ln 2} = 0, \end{aligned}$$

т.е. $I(X, Y) = 0$ только при $p_{ij} = p_i q_j$ для всех i и j , т.е. при независимости X и Y . Если X и Y независимы, то $p_{ij} = p_i q_j$ и, следовательно, аргументы логарифмов равны 1 и, следовательно, сами логарифмы равны 0, что означает, что $I(X, Y) = 0$;

2. Следует из симметричности формул относительно аргументов;
3. Если $HX = 0$, то все члены суммы, определяющей HX , должны быть нули, что возможно тогда и только тогда, когда X - константа;
4. Из четырёх очевидных соотношений

$$\begin{aligned} \sum_j p_{ij} &= p_i, \quad \sum_i p_{ij} = q_j, \\ HX &= -\sum_i p_i \log_2 p_i = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_i, \\ HY &= -\sum_j q_j \log_2 q_j = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 q_j \end{aligned}$$

получается

$$HX + HY - H(X, Y) = \sum_{i,j} p_{ij} (\log_2 p_{ij} - \log_2 q_j - \log_2 p_i) = I(X, Y);$$

5. Нужно доказать $I(X, Y) = HX + HY - H(X, Y) \leq HX$ или $HY - H(X, Y) \leq 0$.

$$HY - H(X, Y) = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2 q_j + \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij} = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 (p_{ij}/q_j),$$

но $p_{ij} = P(X = X_i, Y = Y_j) \leq q_j = P(Y = Y_j)$, а значит аргументы у всех логарифмов не больше 1 и, следовательно, значения логарифмов не больше 0, а это и значит, что вся сумма не больше 0.

Если $HX = I(X, X) = I(X, Y)$, то для каждого i p_{ij} равно либо q_j , либо 0. Но из $p_{ij} = P(X = X_i, Y = Y_j) = P(X = X_i/Y = Y_j)P(Y = Y_j) \in \{q_j, 0\}$ следует $P(X = X_i/Y = Y_j) \in \{0, 1\}$, что возможно только в случае, когда X - функция от Y .

При независимости случайных величин, X и Y одна из них ничем не описывает другую, что и отражается в том, что для таких случайных величин, $I(X, Y) = 0$.

Рассмотрим пример измерения количества информации при подбрасывании двух игральных костей. Пусть заданы дискретные случайные величины X_1 , X_2 и Y . X_1 и X_2 - количества очков, выпавших соответственно на 1-й и 2-й игральной кости, а $Y=X_1+X_2$. Найти $I(Y, X_1)$, $I(X_1, X_1)$, $I(Y, Y)$. Законы распределения вероятностей для дискретной случайной величины X_1 и X_2 совпадают, т.к. кости одинаковые и без изъянов.

X_1	1	2	3	4	5	6
p	$1/6$					

Закон распределения вероятностей для дискретной случайной величины Y ,

$$P(Y = i) = P(X_1 + X_2 = i), \quad i = 2 \dots 12,$$

вследствие того, что X_1 , X_2 - независимы и поэтому

$$P(X_1 = n, X_2 = m) = P(X_1 = n)P(X_2 = m),$$

будет

$$p_i = P(X_1 + X_2 = i) = \sum_{\substack{n+m=i \\ 1 \leq n, m \leq 6}} P(X_1 = n)P(X_2 = m) = \sum_{\substack{n+m=i \\ 1 \leq n, m \leq 6}} 1/36.$$

Таблицы, определяющие Y :

$X_2 \backslash X_1$	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	6	7	8	9	10	11
6	7	8	9	10	11	12

$Y = X_1 + X_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p	$1/36$	$2/36$	$3/36$	$4/36$	$5/36$	$6/36$	$5/36$	$4/36$	$3/36$	$2/36$	$1/36$

то есть при $i = 2 \dots 12$, $p_i = P(Y = i) = (6 - |7 - i|)/36$.

Закон совместного распределения вероятностей дискретной случайной величины X_1 и Y будет

$$p_{ij} = P(Y = i, X_1 = j) = P(Y = i/X_1 = j)P(X_1 = j),$$

например,

$$P(Y = 2, X_1 = 1) = P(Y = 2/X_1 = 1)P(X_1 = 1) =$$

$$= P(X_2 = 1)P(X_1 = 1) = 1/36. \text{ В общем случае получится}$$

$$p_{ij} = P(Y = i, X_1 = j) = \begin{cases} 1/36, & \text{при } 1 \leq i - j \leq 6, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$X_1 \backslash Y$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	0	0	0	0	0
2	0	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	0	0	0	0
3	0	0	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	0	0	0
4	0	0	0	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	0	0
5	0	0	0	0	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	0
6	0	0	0	0	0	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$	$1/36$

Тогда

$$\begin{aligned} I(Y, X_1) &= \sum_{j=1}^6 \sum_{1 \leq i-j \leq 6} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i q_j} = \\ &= \frac{1}{36} \sum_{j=1}^6 \sum_{1 \leq i-j \leq 6} \log_2 \frac{1}{6p_i} = \\ &= \frac{1}{36} \left(\sum_{i=2}^7 \log_2 \frac{1}{6p_i} + \sum_{i=3}^8 \log_2 \frac{1}{6p_i} + \dots + \sum_{i=6}^{11} \log_2 \frac{1}{6p_i} + \sum_{i=7}^{12} \log_2 \frac{1}{6p_i} \right) = \\ &= \frac{1}{36} \left(\left(\log_2 \frac{6}{1} + \log_2 \frac{6}{2} + \dots + \log_2 \frac{6}{6} \right) + \dots + \left(\log_2 \frac{6}{6} + \log_2 \frac{6}{5} + \dots + \log_2 \frac{6}{1} \right) \right) = \\ &= \frac{1}{36} (2 \log_2 6 + 4 \log_2 3 + 6 \log_2 2 + 8 \log_2 \frac{3}{2} + 10 \log_2 \frac{6}{5} + 6 \log_2 1) = \\ &= (2 + 2 \log_2 3 + 4 \log_2 3 + 6 + 8 \log_2 3 - 8 + 10 \log_2 3 + 10 - 10 \log_2 5) / 36 = \\ &= (10 + 24 \log_2 3 - 10 \log_2 5) / 36 \approx 0.69 \text{ бит/символ.} \end{aligned}$$

$$I(X_1, X_1) = I(X_2, X_2) = - \sum_{j=1}^6 q_j \log_2 q_j = \log_2 6 = 1 + \log_2 3 \approx 2.58 \text{ бит/символ.}$$

$$\begin{aligned} I(Y, Y) &= - \sum_{i=2}^{12} p_i \log_2 p_i = \\ &= \frac{1}{36} (2 \log_2 36 + 4 \log_2 18 + 6 \log_2 12 + 8 \log_2 9 + 10 \log_2 \frac{36}{5} + 6 \log_2 6) = \\ &= (4 + 4 \log_2 3 + 4 + 8 \log_2 3 + 12 + 6 \log_2 3 + 16 \log_2 3 + 20 + 20 \log_2 3 - 10 \log_2 5 + 6 + 6 \log_2 3) / 36 = \\ &= (46 + 60 \log_2 3 - 10 \log_2 5) / 36 \approx 3.27 \text{ бит/сим.} \end{aligned}$$

Здесь $0 < I(Y, X_1) = I(Y, X_2) < I(X_1, X_1) = I(X_2, X_2) < I(Y, Y)$, что соответствует свойствам информации.

Подчеркнутый член $\frac{1}{36} 2 \log_2 6 = \frac{I(X_1, X_1)}{18}$ в расчете $I(X_1, Y)$ соответствует информации о двух случаях из 36, когда $Y=2$ и $Y=12$, которые однозначно определяют X_1 . Шесть случаев, когда $Y=7$, не несут никакой информации об X_1 , что соответствует подчеркнутому члену $6 \log_2 1 = 0$.

Расчеты можно проводить, используя 4-е свойство информации, через энтропию.

$$H(Y, X_1) = - \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij} = \log_2 36 = 2(1 + \log_2 3) = 2H X_1 \approx 5.17 \text{ бит/символ.}$$

$$I(Y, X_1) = H X_1 + H Y - H(X_1, Y) = H Y - H X_1 \approx 3.27 - 2.58 = 0.69 \text{ бит/символ.}$$

Расчет количества информации с использованием 4-го свойства, а не определения, обычно требует меньше вычислений.

Рассмотрим более простой пример. Пусть дискретная случайная величина X равна количеству очков, выпавших на игральной кости, а дискретная случайная величина Y равна 0, если выпавшее количество очков нечетно, и 1, если выпавшее количество очков четно. Найти $I(X, Y)$ и $I(Y, Y)$.

Составим законы распределения вероятностей дискретной случайной величины X и Y .

X	1	2	3	4	5	6
p	1/6					

Y	0	1
p	1/2	

Таким образом, при $i=1 \dots 6$ $p_i = P(X=i) = 1/6$ и, соответственно, при $j=0 \dots 1$ $q_j = P(Y=j) = 1/2$.

Составим также закон совместного распределения вероятностей этих дискретных случайных величин

X	1	3	5	2	4	6	1	3	5	2	4	6
Y	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
p	1/6						0					

Таким образом,

$$p_{ij} = P(X=i, Y=j) = \begin{cases} 0, & \text{если } i+j - \text{четно,} \\ 1/6, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$$I(X, Y) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i q_j} = 6 \frac{1}{6} \log_2 2 = 1 \text{ бит/символ.}$$

$$I(Y, Y) = - \sum_{j=0}^1 q_j \log_2 q_j = 2 \frac{1}{2} \log_2 2 = 1 \text{ бит/символ.}$$

Точное количество выпавших очков дает точную информацию о четности, т.е. 1 бит. Из $I(X, Y) = I(Y, Y) = 1$ бит/сим и 3-го свойства информации следует, что информация об X полностью определяет Y , но не наоборот, т.к. $I(X, Y) \neq I(X, X) = 1 + \log_2 3 \approx 2.58$ бит/сим. Действительно, Y функционально зависит от X , а X от Y функционально не зависит.

Расчеты через энтропию будут следующими

$$H(X, Y) = - \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 p_{ij} = \log_2 6 = 1 + \log_2 3 = H X,$$

$$I(X, Y) = H X + H Y - H X = H Y = 1 \text{ бит/символ.}$$

Пример. Допустим, что нам интересно знать, сдал или не сдал экзамен данный студент. Примем следующие вероятности этих событий:

$$P(\text{сдал}) = 7/8, P(\text{не сдал}) = 1/8.$$

Отсюда видно, что этот студент является довольно сильным. Если нам сообщили, что он сдал экзамен, мы вправе сказать: «Ваше сообщение мне мало, что дало, и я и без этого предполагал, что он сдал». Количественно по формуле

$$I(\xi) = H(\xi) = -\ln P(\xi), \text{ информация этого сообщения равна}$$

$$I(\text{сдал}) = \log_2(8/7) = 0.193 \text{ бита.}$$

Если нам сообщили, что не сдал, мы скажем: - «Неужели?» и почувствуем, что в большой степени обогатились знаниями. Количество информации такого сообщения

$$I(\text{не сдал}) = \log_2(8) = 3 \text{ бита.}$$

Усреднение по обоим сообщениям даёт больцмановскую энтропию (информацию)

$$I_{\xi} = H_{\xi} = (7/8) \cdot 0,193 + 3/8 = 0,544 \text{ бита.}$$

Теорема Шеннона, одна из основных теорем теории информации о передаче сигналов по каналам связи при наличии помех, приводящих к искажениям. Пусть надлежит передать последовательность символов, появляющихся с определёнными вероятностями, причём имеется некоторая вероятность того, что передаваемый символ в процессе передачи будет искажён. Простейший способ, позволяющий надёжно восстановить исходную последовательность по получаемой, состоит в том, чтобы каждый передаваемый символ повторять большое число (N) раз. Однако это приведёт к уменьшению скорости передачи в N раз, т. е. сделает её близкой к нулю. Теорема Шеннона утверждает, что можно указать такое, зависящее только от рассматриваемых вероятностей положительное число ν , что при сколько угодно малом $\varepsilon > 0$ существуют способы передачи со скоростью $\nu'(\nu' < \nu)$, сколь угодно близкой к ν , дающие возможность восстанавливать исходную последовательность с вероятностью ошибки, меньшей ε . В то же время при скорости передачи ν' , большей ν , это уже невозможно. Упомянутые способы передачи используют надлежащие «помехоустойчивые» коды. Критическая скорость ν определяется из соотношения $H\nu = C$, где H — энтропия источника на символ, C - ёмкость канала в двоичных единицах в секунду.

Теорема Шеннона

Теорема Шеннона (на самом деле это около десятка теорем для различных условий) устанавливает возможность передачи информации по каналу связи.

Теорема Шеннона. Если пропускная способность канала связи C больше энтропии источника сообщений H , то можно закодировать сообщения таким образом, что передача будет произведена в среднем без задержек.

Смысл теоремы Шеннона состоит в том, если пропускная способность канала связи достаточно большая, то хотя временные задержки возможны, но они когда-нибудь "рассосутся".

Клод Шеннон работал в телефонной компании Bell Laboratories.

Гениальный инженер и математик – доказанные, указанные и угаданные им теоремы десятки лет строго доказывали математики.

2. ТЕОРЕМЫ ШЕННОНА

С именем К.Шеннона связано около десяти теорем. Не все он ввёл сам, некоторые сформулированы его продолжателями и названы в его честь. Доказательством своих теорем он также себя особо не затруднял, так что на их доказательство лучшие математики мира потратили несколько десятилетий.

Самыми важными теоремами Шеннона являются:

- Прямая и обратная теоремы Шеннона для источника общего вида - о связи энтропии источника и средней длины сообщений.
- Прямая и обратная теоремы Шеннона для источника без памяти - о связи энтропии источника и достижимой степени сжатия с помощью кодирования с потерями и последующего неоднозначного декодирования.
- Прямая и обратная теоремы Шеннона для канала с шумами - о связи пропускной способности канала и существования кода, который возможно использовать для передачи с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока).
- Теорема отсчётов Уиттакера-Найквиста-Шеннона (теорема Котельникова) - об однозначном восстановлении сигнала по своим дискретным отсчётам. – Теорема Шеннона-Хартли

Замечание. В теории информации, по традиции, утверждения типа «для *любого* кода имеет место некоторое свойство» называются обратными теоремами, а утверждения типа «Существует код с заданным свойством» - прямыми теоремами.

Сообщения (а также источники, их порождающие), в которых существуют статистические связи (корреляции) между знаками или их сочетаниями, называются сообщениями (источниками) с памятью или марковскими сообщениями (источниками).

Канал без памяти – канал связи, в котором отсутствует корреляция знаков.

Основное назначение теорем Шеннона – создание математической базы кодирования информации при передаче сообщения. Самим кодированием в системах связи и компьютерных системах мы займёмся в следующих лекциях, а сейчас ограничимся несколькими замечаниями.

Шенноновское определение количества информации получает своё оправдание при рассмотрении преобразования информации из одного вида в другой, т.е. при рассмотрении кодирования информации. Существенно, что при таком преобразовании выполняется закон сохранения количества информации. Полезно привести аналогию с законом сохранения энергии. Этот закон является главным основанием для введения понятия энергии. Правда, закон сохранения информации сложнее закона сохранения энергии в двух отношениях. Закон сохранения энергии устанавливает точное **равенство** энергий при переходе энергии из одного вида в другой. При превращении же информации имеет место более сложное соотношение, а именно «не больше» (\leq), т.е. информация не может вырасти. Знак равенства соответствует **оптимальному** кодированию. Поэтому при формулировке закона сохранения информации приходится говорить что **возможно** (существует) такое кодирование, при котором имеет место равенство количеств информации.

Второе осложняющее обстоятельство заключается в том, что равенство не является точным. Оно является приближённым, асимптотическим, справедливым для сложных (больших) сообщений, тем точнее выполняется указанное сообщение. Точный знак равенства имеет место лишь в предельном случае. В этом отношении имеется аналогия с законами статистической термодинамики, которые справедливы для больших термодинамических систем, состоящих из большого числа (практически порядка числа Авогадро) молекул.

При выполнении кодирования предполагается заданной (большая) последовательность сообщений ξ_1, ξ_2, \dots вместе со своими вероятностями, т.е. как последовательность случайных величин. Следовательно, может быть вычислено соответствующее ей количество информации (энтропия H). Эта информация может быть записана или передана различными реализациями записи или передачи. Если M – число таких реализаций, то указанный закон сохранения количества информации заключается в равенстве $H = \ln M$, осложнённой отмеченными обстоятельствами (т.е. в действительности $H \leq \ln M$).

Возможен двоякий подход к решению задачи кодирования. Может осуществляться кодирование бесконечной последовательности сообщений, т.е. *текущее* (или «скользящее»). Такой же характер будет носить и обратная процедура – процедура декодирования. Для текущей обработки характерно, что количественное равенство между кодируемой и закодированной информацией поддерживается лишь в среднем. При этом возникает и нарастает с течением времени случайная временная задержка или опережение. Для фиксированной длины последовательности сообщение длина её записи будет иметь случайный разброс, растущий с течением времени, и наоборот: при фиксированной длине записи число элементарных переданных сообщений будет характеризоваться нарастающим разбросом.

Другой подход можно назвать «блочным». При нём подлежит кодировке конечная совокупность (блок) элементарных сообщений. Различные блоки, если их несколько, кодируются и декодируются независимо. При таком подходе не происходит нарастания случайных временных сдвигов, но зато происходит потеря некоторых реализаций сообщения. Некоторая небольшая часть реализаций сообщений не может быть записана и теряется, так как для неё не хватает реализаций записи. Если блок является энтропийно устойчивой величиной, то вероятность такой потери достаточно мала. Следовательно, при блочном подходе необходимо исследование вопросов, связанных с энтропийной устойчивостью.

Важно иметь в виду, что основная идея помехоустойчивого кодирования состоит в искусственном введении избыточности в сообщения по подаче их в канал с помехами.

Далее мы рассмотрим теоретическое обоснование скользящего кодирования.

2.1 Теоремы Шеннона для источника общего вида

Теоремы Шеннона для источника общего вида описывают возможности кодирования источника общего вида с помощью разделимых кодов. Другими словами, описываются максимально достижимые возможности кодирования без потерь.

Для теории связи важнейшее значение имеют две теоремы, доказанные Шенноном. Первая затрагивает ситуацию с кодированием при передаче сообщения по линии связи, в которой отсутствуют помехи, искажающие информацию. Вторая теорема относится к реальным линиям связи с помехами.

Прямая теорема (теорема Шеннона для канала без помех – первая теорема Шеннона)

Теорема Шеннона устанавливает возможность передачи информации по каналу связи.

Смысл теоремы состоит в том, если пропускная способность канала связи достаточно большая, то хотя временные задержки возможны, но они когда-нибудь «рассосутся».

Рассмотрим проблему согласования источника сообщений и канала при передаче последовательности сообщений. Пусть источник сообщений выдаёт сообщения с некоторой скоростью (сообщений/ед. времени), называемой технической производительностью источника. Пусть по каналу можно передавать без искажений сообщения со скоростью, не превышающей некоторую величину (сообщений/ед. времени), называемую технической пропускной способностью канала. Очевидно, что если выполняется условие скорость передачи сообщения меньше пропускной способности, то канал успевает передать все сообщения, поступающие на его вход от источника, и передача будет вестись без искажений. Что произойдет, если производительность источника сообщений выше пропускной способности канала? Можно ли в этом случае обеспечить передачу без искажений? Если исходить только из технических характеристик, то, очевидно, нельзя. А если учесть информационные характеристики? Ведь известно, что если последовательность обладает информационной избыточностью, то её можно сжать, применив методы экономного кодирования. Рассмотрим подробнее такую возможность.

Пусть V_u - (информационная) производительность источника, т.е. количество информации, производимое источником в единицу времени; C_k - (информационная) пропускная способность канала, т.е. максимальное количество информации, которое способен передать канал без искажений за единицу времени. Первая теорема Шеннона утверждает, что безошибочная передача сообщений определяется соотношением V_u и C_k .

Первая теорема Шеннона: если пропускная способность канала без помех превышает производительность источника сообщений, т.е. удовлетворяется условие $C_k > V_u$, то существует способ кодирования и декодирования сообщений источника, обеспечивающий сколь угодно высокую надежность передачи сообщений. В противном случае, т.е. если $C_k < V_u$ такого способа нет.

Таким образом, идеальное кодирование по Шеннону по существу представляет собой экономное кодирование последовательности сообщений при безграничном укрупнении сообщений. Такой способ кодирования характеризуется задержкой сообщений, поскольку кодирование очередной типичной последовательности может начаться только после получения последовательности источника длительностью T , а декодирование - только когда принята последовательность из канала той же длительности T . Поскольку требуется, то идеальное кодирование требует бесконечной задержки передачи информации. В этом причина технической нереализуемости идеального кодирования по Шеннону. Тем не менее, значение этого результата, устанавливающего предельные соотношения информационных характеристик источника и канала для безошибочной передачи сообщений, весьма велико. Исторически именно теорема Шеннона инициировала и определила развитие практических методов экономного кодирования.

Строго первая теорема Шеннона о передаче информации, которая называется также основной теоремой о кодировании при отсутствии помех, формулируется следующим образом:

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором среднее число знаков кода, приходящихся на один знак кодируемого алфавита, будет сколь угодно близко к отношению средних информаций на знак первичного и вторичного алфавитов.

Используя понятие избыточности кода, можно дать более короткую формулировку теоремы:

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором избыточность кода будет сколь угодно близкой к нулю.

Эта теорема открывает принципиальную возможность оптимального кодирования. Однако необходимо сознавать, что из самой теоремы никоим образом не следует, как такое кодирование осуществить практически – для этого должны привлекаться какие-то дополнительные соображения, что и станет предметом нашего последующего обсуждения.

При отсутствии помех передачи средняя длина двоичного кода может быть сколь угодно близкой к средней информации, приходящейся на знак первичного алфавита.

В применении к побуквенному кодированию прямая теорема может быть сформулирована следующим образом:

Существует префиксный, то есть разделимый код, для которого средняя длина сообщений отличается от нормированной энтропии не более, чем на единицу:

$$E_U w(U) < \frac{H(U)}{\log_2 D} + 1 \quad (29)$$

где: U - некоторый источник сообщений, а также множество всех его сообщений u_1, u_2, \dots, u_K ; w_1, w_2, \dots, w_K - длины сообщений источника после кодирования; $E_U w(U)$ - средняя длина сообщений; $H(U)$ - энтропия источника; D - количество букв в алфавите кодирования (например, 2 для двоичного алфавита, 33 - для кодирования заглавными русскими буквами и т. д.)

Префиксный код в теории кодирования - код со словом переменной длины, имеющий такое свойство (выполнение условия Фано): если в код входит слово a , то для любой непустой строки b слова ab в коде не существует. Хотя префиксный код состоит из слов разной длины, эти слова можно записывать без разделительного символа. Например, код, состоящий из слов 0, 10 и 11, является префиксным, и сообщение 01001101110 можно разбить на слова единственным образом: 0 10 0 11 0 11 10. Код, состоящий из слов 0, 10, 11 и 100, префиксным не является, и то же сообщение можно трактовать несколькими способами: 0 10 0 11 0 11 10 или 0 100 11 0 11 10. Так называемые «префиксы» могут быть получены путём последовательного отбрасывания последнего знака кодовой комбинации. Например, для кодовой комбинации 11101101 префиксами будут 11101101, 1110110, 111011, 11101, 1110, 111, 11, 1. Если промежутков или других знаков препинания между кодовыми комбинациями нет, то для однозначного декодирования комбинации 11101101 ни одна из кодовых комбинаций не может быть представлена перечисленными вариантами (префиксами). Код называется префиксным, если ни одна из его комбинаций не является префиксом другой комбинации того же кода. Часть кодовой комбинации, которая дополняет префикс до самой комбинации, называется суффиксом. Префиксные коды наглядно могут быть представлены с помощью кодовых деревьев. Если ни один узел кодового дерева не является вершиной данного кода, то он обладает свойствами префикса. Узлы дерева, которые не соединяются с другими, называются конечными. Комбинации, которые им соответствуют, являются кодовыми комбинациями префиксного кода. Примером префиксного кода является любой код со словом фиксированной длины. Телефонные номера в стационарных сетях тоже префиксные коды. Код Морзе не является префиксным. В него, кроме точки и тире, входит также символ-разделитель - пауза длиной в тире.

В качестве доказательства теоремы исследуются характеристики кода Шеннона-Фано. Данный код удовлетворяет условиям теоремы, и он обладает указанными свойствами.

Обратная теорема

Обратная теорема ограничивает максимальную степень сжатия, достигаемую с помощью кодирования без потерь. В применении к побуквенному кодированию, описывает ограничение на среднюю длину кодового слова для любого разделимого кода. Для любого разделимого кода с длинами w_1, w_2, \dots, w_K средняя длина сообщений больше или равна энтропии источника U , нормированной на двоичный логарифм от числа букв D в алфавите кодера:

$$\frac{H(U)}{\log_2 D} \leq E_U w(U) \quad (30)$$

2.2. Теоремы Шеннона для источника без памяти

Теоремы Шеннона для источника без памяти связывают энтропию источника и возможность сжатия кодированием с потерями и последующим неоднозначным декодированием.

Прямая теорема показывает, что с помощью кодирования с потерями возможно достичь степени сжатия

$$\frac{N}{L} \approx \frac{H(U)(1+\varepsilon)}{\log_2 D} \quad (31)$$

сколь угодно близкой к энтропии источника, но всё же больше последней. Обратная теорема показывает, что лучший результат не достигим.

Формулировка теорем.

Пусть заданы: U - некоторый источник сообщений, а также множество всех его сообщений u_1, u_2, \dots, u_K ; Ω - множество всех входных последовательностей длины L , которое разделяется на: M_L - множество входных последовательностей однозначного декодирования; M_L^C - множество входных последовательностей неоднозначного декодирования; D - количество букв в алфавите кодера (в сообщениях после кодирования); N - длина сообщений после кодирования

Прямая теорема

Для источника без памяти U с энтропией $H(U)$ и любого $\varepsilon > 0$ существует последовательность множеств однозначного декодирования M_L мощности $2^{L(1+\varepsilon)H(U)}$ такая, что вероятность множества

неоднозначного декодирования стремится к нулю $P(M_L^C) \rightarrow 0$ при увеличении длины блока $L \rightarrow \infty$. Другими словами, сжатие возможно.

Обратная теорема

Пусть задан источник без памяти U с энтропией $H(U)$ и любой $\varepsilon_1 > 0$. Для любой последовательности множеств однозначного декодирования M_L мощности $2^{L(1-\varepsilon_1)H(U)}$ вероятность множества неоднозначного декодирования стремится к единице: $P(M_L^C \rightarrow 1)$ при увеличении длины блока $L \rightarrow \infty$. Другими словами, сжатие невозможно.

2.3 Теоремы Шеннона для канала с шумами

Теоремы Шеннона для передачи по каналу с шумами связывают пропускную способность канала передачи информации и существование кода, который возможно использовать для передачи информации по каналу с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока).

При отсутствии помех ошибки при передаче могут возникать только за счёт неоднозначного кодирования сообщений. Рассмотрим теперь ситуацию, когда в канале действуют помехи, вызывающие искажения передаваемых символов. Возникающие при этом ошибки носят случайный характер, они действуют при любой скорости передачи сообщений через канал, в том числе, когда $V_u < V_k$.

Возникает вопрос, возможен ли такой способ кодирования, при котором сообщения передаются через канал без ошибок с некоторой ненулевой скоростью $V_{k,0}$ (действие ошибок полностью устраняется при кодировании)? Известны методы помехоустойчивости кодирования, основанные на введении избыточности. Однако для полного устранения ошибок их применение потребовало бы введения бесконечной избыточности, что привело бы к снижению скорости передачи сообщений до нуля.

Тем не менее вторая теорема Шеннона утверждает, что такой способ возможен. Тогда возникает следующий вопрос: чем определяется максимальная скорость передачи сообщений по каналу с помехами? Оказывается, что, как и для канала без помех, она определяется соотношением информационных характеристик источника и канала.

Вторая теорема Шеннона: для канала с помехами существует такой способ кодирования, при котором обеспечивается безошибочная передача всех сообщений источника, если только пропускная способность канала превышает производительность источника, т.е. $C_k > V_u$.

Если скорость передачи сообщений меньше пропускной способности канала связи, $R < C$, то существуют коды и методы декодирования такие, что средняя и максимальная вероятности ошибки декодирования стремятся к нулю, когда длина блока стремится к бесконечности. Теоретически (при использовании достаточно сложной схемы кодирования) информацию по каналу можно передавать с любой скоростью R со сколь угодно малой вероятностью возникновения ошибки.

Если же $R > C$, то тогда, на основе которого можно добиться сколько угодно малой вероятности возникновения ошибки, не существует, т.е. для канала с помехами всегда можно найти такую систему кодирования, при которой сообщения будут переданы со сколь угодно большой степенью верности, если только производительность источника не превышает пропускной способности канала.

Теоремы Шеннона для канала с шумами (теоремы Шеннона для передачи по каналу с шумами) связывают пропускную способность канала передачи информации и существование кода, который возможно использовать для передачи информации по каналу с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока).

Пусть K - длина блока, генерируемого источником; L - длина блока, который будет передан по каналу (после кодирования); R - скорость передачи сообщений (производительность источника); $R = K/L$; C - пропускная способность канала, определяемая как максимум взаимной информации на входе и выходе канала (X и Y - представление входа и выхода канала как случайных величин); $C = \max(I(X;Y))$; P_{er} - средняя вероятность ошибки декодирования блока; $P_{er,max}$ - максимальная вероятность ошибки декодирования блока

$$P_{er,max} = \max_{1 \leq M} P_{er} \quad (32)$$

Прямая теорема

Если скорость передачи сообщений меньше пропускной способности канала связи ($R < C$), то существуют коды $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_M\}$ и методы декодирования такие, что средняя и максимальная вероятности ошибки декодирования стремятся к нулю, когда длина блока стремится к бесконечности, то есть $P_{er} \rightarrow 0$, $P_{er,max} \rightarrow 0$ при $L \rightarrow \infty$. Иными словами: Для канала с помехами всегда можно найти такую систему кодирования, при которой сообщения будут переданы со сколь угодно большой степенью верности, если только производительность источника не превышает пропускной способности канала.

Обратная теорема

Если скорость передачи больше пропускной способности, то есть $R > C$, то не существует таких способов передачи, при которых вероятность ошибки стремится к нулю ($P_{er} \rightarrow 0$) при увеличении длины передаваемого блока, $L \rightarrow \infty$.

Теорема Шеннона для канала с помехами не указывает конкретного способа кодирования, обеспечивающего достоверную передачу информации со скоростью сколь угодно близкой к пропускной способности канала, а лишь указывает на принципиальное существование такого способа. Кроме того, как и в первой теореме, кодирование будет сопровождаться задержкой сообщений не менее $2T$. Поэтому идеальное кодирование технически нереализуемо. Однако из формулы для вероятности ошибки вытекает крайне важный практический вывод: *достоверность передачи сообщений тем выше, чем больше длительность кодируемой последовательности и чем менее эффективно используется пропускная способность канала, т.е. чем больше запас $C_k - V_u$.*

Теорема Шеннона для канала с помехами оказала огромное влияние на становление правильных взглядов на возможности передачи сообщений и на разработку технически реализуемых методов помехоустойчивого кодирования. Шеннон показал, что для безошибочной передачи сообщений вовсе не обязательно вводить бесконечную избыточность и уменьшать скорость передачи информации до нуля. Достаточно ввести в сообщения источника такую избыточность, которая равна потерям количества информации в канале из-за действия помех.

2.4 Граница Шеннона

Под границей Шеннона (*Shannon limit*) понимается максимальная скорость передачи, для которой код имеет возможность исправить ошибки в канале с заданным отношением сигнал/шум. В настоящее время (2009) максимальное приближение к этой границе даёт LDPC-код с примерной длиной блока в 10 миллионов бит. Также, с другой стороны, под границей Шеннона можно понимать минимальное отношение сигнал/шум, для которого теоретически возможно безошибочная передача и декодирование блока с заданной скоростью. Например, для вида модуляции QPSK и скорости передачи 1 (бит/с)/символ минимальное отношение сигнал/шум составляет 0,25 дБ.

2.5 Теорема Шеннона-Хартли

Теорема Шеннона-Хартли в теории информации - применение теоремы кодирования сигнала с шумом к случаю непрерывного временного аналогового канала коммуникаций, искаженного гауссовским шумом. Теорема устанавливает шенноновскую ёмкость канала, верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных (то есть, информации), которое может быть передано по такой связи коммуникации с указанным полоса пропускания в присутствии шумового вмешательства, согласно предположению, что мощность сигнала ограничена, и Гауссовский шум характеризуется известной мощностью или мощностью спектральной плотности. Закон назван в честь Клода Шеннона и Ральфа Хартли.

Рассматривая все возможные многоуровневые и многофазные методы шифрования, теорема Шеннона-Хартли утверждает, что ёмкость канала C , означающая теоретическую верхнюю границу скорости передачи данных, которые можно передать с данной средней мощностью сигнала S через аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму мощности равна:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (33)$$

где C - ёмкость канала в битах в секунду; B - полоса пропускания канала в герцах; S - полная мощность сигнала над полосой пропускания, измеренной в ваттах или вольтах в квадрате; N - полная шумовая мощность над полосой пропускания, измеренной в ваттах или вольтах в квадрате; S/N - отношение сигнала к шуму сигнала к Гауссовскому шуму, выраженное как отношение мощностей.

В течение конца 1920-ых Гарри Найквист и Ральф Хартли разработали фундаментальные идеи, связанные с передачей информации, с помощью телеграфа. В то время, это был прорыв, но науки как таковой не существовало. В 1940-ых, Клод Шеннон ввел понятие способности канала, которое базировалось на идеях Найквиста и Хартли, а затем сформулировал полную теорию передачи информации. В 1927 Найквист определил, что число независимых пульсов, которые могут быть переданы в единицу времени без искажений, ограничено двойной шириной частотного диапазона канала связи. В символьном виде, $f_p \leq 2B$, где f_p - частота пульса (пульсов в секунду), и B - полоса пропускания (в герц). Найквист

опубликовал свои результаты в статье «Определенные Проблемы Теории Телеграфной Передачи» (1928). В данной теореме определено, что достичь максимальной скорости (бит/сек) можно путем увеличения полосы пропускания и мощности сигнала и, в то же время, уменьшения шума.

Теорема Шеннона-Хартли ограничивает информационную скорость (бит/с) для заданной полосы пропускания и отношения сигнал/шум. Для увеличения скорости необходимо увеличить уровень полезного сигнала, по отношению к уровню шума. Если бы существовала бесконечная полоса пропускания, бесшумовой аналоговый канал, то можно было бы передать неограниченное количество безошибочных данных по ней за единицу времени. Реальные каналы имеют ограниченные размеры и в них всегда присутствует шум.

Удивительно, но не только ограничения полосы пропускания влияют на количество передаваемой информации. Если мы комбинируем шум и ограничения полосы пропускания, мы действительно видим, что есть предел количества информации, которую можно было передать, даже используя многоуровневые методы кодирования. В канале, который рассматривает теорема Шеннона-Хартли, шум и сигнал дополняют друг друга. Таким образом, приёмник воспринимает сигнал, который равен сумме сигналов, кодирующего нужную информацию и непрерывную случайную, которая представляет шум. Это дополнение создаёт неуверенность относительно ценности оригинального сигнала. Если приёмник обладает информацией о вероятности ненужного сигнала, который создает шум, то можно восстановить информацию в оригинальном виде, рассматривая все возможные влияния шумового процесса. В случае теоремы Шеннона-Хартли шум, как таковой, произведён Гауссовским процессом с некоторыми отклонениями в канале передачи. Такой канал называют Совокупным Белым Гауссовским Шумовым каналом, так как Гауссовский шум является частью полезного сигнала; «белый» подразумевает равное количество шума во всех частотах в пределах полосы пропускания канала. Такой шум может возникнуть при воздействии случайных источников энергии, а также быть связан с ошибками, возникшими при кодировании. Зная о вероятности возникновения Гауссовского шума, значительно упрощается определение полезного сигнала.

Сравнение способности Шеннона к способности канала к информационной норме из закона Хартли позволяет найти эффективное число различных уровней

$$2B \log_2(M) = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (34)$$
$$M = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}.$$

квадратный корень эффективно преобразовывает отношение мощности в отношение напряжения.

Таким образом, число уровней приблизительно пропорционально отношению среднеквадратической амплитуды сигнала к шумовому стандартному отклонению. Это подобие в форме между способностью Шеннона и законом Хартли не означает, что M уровней пульса можно буквально послать без любого беспорядка; больше уровней необходимо, чтобы учесть избыточное кодирование и устранить ошибки, но чистая скорость передачи данных, к которой можно приблизиться с кодированием, эквивалентна использованию того M в законе Хартли.

2.6 Формула Хартли

Идея о том, что общий случай неравновероятных возможностей (состояний) асимптотически сводится к случаю равновероятных, лежит в основе теории информации в отсутствие помех. Эта идея принадлежит Больцману. К.Шеннон возродил эту идею и широко использовал для получения новых результатов.

Первый шаг к сущности информации и определению её количества сделал в 1928 Хартли. Основной полученный им результат: если в заданном множестве, содержащем N элементов, выделен некоторый элемент x , о котором известно лишь, что он принадлежит этому множеству, то, чтобы найти x , необходимо получить количество информации, равное $\log_2 N$. Эту формулу обычно называют формулой Хартли. Формула Хартли является частным случаем более общей формулы Шеннона, позволяющей найти количество информации в случайном сообщении фиксированного алфавита. Пусть X_1, \dots, X_n - символы этого алфавита, P_1, \dots, P_n - вероятности их появления в тексте сообщения, тогда формула Шеннона принимает вид: $H = P_1 \cdot \log_2(1/P_1) + \dots + P_n \cdot \log_2(1/P_n)$, где H - количество бит информации в одном символе сообщения, или энтропия символа сообщения. Это число показывает минимальное среднее число бит, необходимых для представления одного символа алфавита данного сообщения.

Предположим, что какое-то событие имеет m равновероятных исходов. Таким событием может быть, например, появление любого символа из алфавита, содержащего m таких символов. Как измерить количество информации, которое может быть передано при помощи такого алфавита? Это можно сделать, определив число N возможных сообщений, которые могут быть переданы при помощи этого алфавита. Если сообщение формируется из одного символа, то $N = m$, если из двух, то $N = m \cdot m = m^2$. Если сообщение содержит n символов (n – длина сообщения), то $N = mn$. Казалось бы, искомая мера количества информации найдена. Ее можно понимать как меру неопределенности исхода опыта, если под опытом подразумевать случайный выбор какого-либо сообщения из некоторого числа возможных. Однако эта мера не совсем удобна. При наличии алфавита, состоящего из одного символа, т.е. когда $m = 1$, возможно появление только этого символа. Следовательно, неопределенности в этом случае не существует, и появление этого символа не несёт никакой информации. Между тем, значение N при $m = 1$ не обращается в нуль. Для двух независимых источников сообщений (или алфавита) с N_1 и N_2 числом возможных сообщений общее число возможных сообщений $N = N_1 N_2$ (логичнее было бы считать, что количество информации, получаемое от двух независимых источников, должно быть не произведением, а суммой составляющих величин).

Р.Хартли предложил информацию I , приходящуюся на одно сообщение, определять логарифмом общего числа возможных сообщений N :

$$I(N) = \log N \quad (35)$$

Если же все множество возможных сообщений состоит из одного ($N = m = 1$), то $I(N) = \log 1 = 0$, что соответствует отсутствию информации в этом случае. При наличии независимых источников информации с N_1 и N_2 числом возможных сообщений

$$I(N) = \log N = \log N_1 N_2 = \log N_1 + \log N_2,$$

т.е. количество информации, приходящееся на одно сообщение, равно сумме количеств информации, которые были бы получены от двух независимых источников, взятых порознь. Формула, предложенная Хартли, удовлетворяет предъявленным требованиям. Поэтому её можно использовать для измерения количества информации.

Если возможность появления любого символа алфавита равновероятна (а мы до сих пор предполагали, что это именно так), то эта вероятность $p = 1/m$. Полагая, что $N = m$,

$$I = \log N = \log m = \log(1/p) = -\log p, \quad (36)$$

т.е. количество информации на каждый равновероятный сигнал равно минус логарифму вероятности отдельного сигнала.

Полученная формула позволяет для некоторых случаев определить количество информации. Однако для практических целей необходимо задаться единицей его измерения. Для этого предположим, что информация – это устраненная неопределённость. Тогда в простейшем случае неопределённости выбор будет производиться между двумя взаимоисключающими друг друга равновероятными сообщениями, например между двумя качественными признаками: положительным и отрицательным импульсами, импульсом и паузой и т.п. Количество информации, переданное в этом простейшем случае, наиболее удобно принять за единицу количества информации. Именно такое количество информации может быть получено, если применить формулу (36) и взять логарифм по основанию 2. Тогда

$$I = -\log_2 p = -\log_2 1/2 = \log_2 2 = 1.$$

Полученная единица количества информации, представляющая собой выбор из двух равновероятных событий, получила название двоичной единицы, или бита. Бит является не только единицей количества информации, но и единицей измерения степени неопределенности. При этом имеется в виду неопределенность, которая содержится в одном опыте, имеющем два равновероятных исхода. На количество информации, получаемой из сообщения, влияет фактор неожиданности его для получателя, который зависит от вероятности получения того или иного сообщения. Чем меньше эта вероятность, тем сообщение более неожиданно и, следовательно, более информативно. Сообщение, вероятность которого высока и, соответственно, низка степень неожиданности, несёт немного информации.

Р.Хартли понимал, что сообщения имеют различную вероятность и, следовательно, неожиданность их появления для получателя неодинакова. Но, определяя количество информации, он пытался полностью исключить фактор «неожиданности». Поэтому формула Хартли позволяет определить количество информации в сообщении только для случая, когда появление символов равновероятно и они статистически независимы. На практике эти условия выполняются редко. При определении количества информации необходимо учитывать не только количество разнообразных сообщений, которые можно получить от источника, но и вероятность их получения.

Наиболее широкое распространение при определении среднего количества информации, которое содержится в сообщениях от источников самой разной природы, получил подход Шеннона. Рассмотрим следующую ситуацию.

Источник передает элементарные сигналы k различных типов. Проследим за достаточно длинным отрезком сообщения. Пусть в нем имеется N_1 сигналов первого типа, N_2 сигналов второго типа, ..., N_k сигналов k -го типа, причем $N_1 + N_2 + \dots + N_k = N$ – общее число сигналов в наблюдаемом отрезке, f_1, f_2, \dots, f_k – частоты соответствующих сигналов. При возрастании длины отрезка сообщения каждая из частот стремится к фиксированному пределу, т.е.

$$\lim f_i = p_i, \quad (i = 1, 2, \dots, k),$$

где p_i можно считать вероятностью сигнала. Предположим, получен сигнал i -го типа с вероятностью p_i , содержащий $-\log p_i$ единиц информации. В рассматриваемом отрезке i -й сигнал встретится примерно Np_i раз (будем считать, что N достаточно велико), и общая информация, доставленная сигналами этого типа, будет равна произведению $Np_i \log p_i$. То же относится к сигналам любого другого типа, поэтому полное количество информации, доставленное отрезком из N сигналов, будет примерно равно

$$-N \sum_{i=1}^k p_i \log p_i \quad (37)$$

Чтобы определить среднее количество информации, приходящееся на один сигнал, т.е. удельную информативность источника, нужно это число разделить на N . При неограниченном росте приближенное равенство перейдет в точное. В результате будет получено асимптотическое соотношение – формула Шеннона

$$I = -\sum_{i=1}^k p_i \log p_i. \quad (38)$$

Оказалось, что формула, предложенная Хартли, представляет собой частный случай более общей формулы Шеннона. Если в формуле Шеннона принять, что

$p_1 = p_2 = \dots = p_i = \dots = p_N = 1/N$, то

$$I = -\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log \frac{1}{N} = -\log \frac{1}{N} = \log N. \quad (39)$$

Знак минус в формуле Шеннона не означает, что количество информации в сообщении – отрицательная величина. Объясняется это тем, что вероятность p , согласно определению, меньше единицы, но больше нуля. Так как логарифм числа, меньшего единицы, т.е. $\log p_i$ – величина отрицательная, то произведение вероятности на логарифм числа будет положительным.

------*

Основное значение результатов Шеннона в сфере передачи сообщений состоит в том, что они дают универсальный критерий, позволяющий сравнивать технически различные устройства с точки зрения их возможностей по передаче информации. Источники сообщений и каналы связи могут быть существенно разными устройствами по используемым сигналам, способам кодирования сообщений, форматам данных, скоростным характеристикам. В этих условиях информационная мера Шеннона и теоремы идеального кодирования позволяют оценить, в какой степени технически различные системы соответствуют друг другу для решения задачи передачи сообщений. Для этого требуется, исходя из технических показателей источника и канала, оценить их информационные показатели: информационную производительность и информационную пропускную способность. Соотношение информационных показателей и является той идеальной мерой, по которой можно судить о степени соответствия реальных систем.

Особая заслуга Шеннона состоит в том, что он первым осознал действительную картину влияния случайных помех на процесс передачи сообщений. Принципиальное действие помех выражается в той степени, в какой они влияют на информационные показатели системы. Поэтому каналы с одинаковой пропускной способностью эквивалентны по возможности безошибочной передачи сообщений не зависимо от того, действуют ли в них помехи или нет.

Для наглядного пояснения роли теоремы Шеннона прибегнем к следующему сравнению. Пусть имеется трубопровод для доставки от источника некоторого жидкого продукта. Технические возможности трубопровода определяются количеством жидкости, которое можно передать по нему в единицу времени. Производительность источника определим количеством чистого продукта, поступающего от него в единицу времени, а пропускную способность трубопровода – как максимально возможную скорость передачи чистого продукта, соответствующую условию, что от источника поступает чистый продукт без примесей.

Аналогом канала с помехами может служить трубопровод с утечкой. Пропускная его способность будет меньше, чем в трубопроводе без утечки, на величину утечки продукта за единицу времени. Можно теперь представить, какой эффект вызвало бы утверждение, что существует такой способ введения примеси («избыточности») в продукт, при котором, введя количество примеси, равное утечке в трубопроводе, можно по нему доставлять продукт без потерь со скоростью, отвечающей пропускной способности трубопровода с утечкой. Именно такой смысл имеет теорема Шеннона применительно к задаче передачи информации. Продолжая аналогию этого примера, можно сказать, что такой способ введения примеси требует наличия некоего «отстойника», в котором примесь будет отстаиваться в течение определенного времени перед подачей в трубопровод (в идеале - бесконечное время). После такого «отстоя» при движении жидкости по трубопроводу в утечку будет уходить только примесь.

Результаты теорем Шеннона, традиционно формулируемые для задачи передачи сообщений, легко распространяются на задачи хранения и поиска информации.

Например, для информационных пользователей справедлива следующая формулировка теоремы Шеннона для задачи хранения информации: для запоминающего устройства (с помехами и без помех) существует способ сколь угодно достоверного кодирования и декодирования хранимых данных, если только средняя энтропия записи меньше информационной емкости ячейки.

Тогда для информационных показателей будет справедлива следующая формулировка теоремы Шеннона для задачи поиска информации с помощью информационных показателей теорема Шеннона формулируется так: для поиска в файле (с помехами и без помех) существует способ сколь угодно достоверного поиска нужных записей, если только средняя энтропия аргумента меньше информационной емкости ключа.

Применение алгоритма идеального кодирования в данной задаче потребует потенциально бесконечного укрупнения файла, чтобы производить. В этом проявляется техническая нереализуемость идеального кодирования применительно к задаче поиска информации.

Передача информации - физический процесс, посредством которого осуществляется перемещение информации в пространстве. Данный процесс характеризуется наличием таких компонентов, как источник информации, приёмник информации, носитель информации и среда передачи. Передача информации в основном заключается в передаче данных, перенос которых осуществляется в виде сигналов средствами электросвязи. Передача данных может быть аналоговой или цифровой (то есть поток двоичных сигналов), а также модулирован посредством аналоговой модуляции, либо посредством цифрового кодирования.

В данной лекции мы рассмотрим линии связи и каналы передачи информации. Основное внимание уделим передаче информации по дискретным и непрерывным каналам связи, в том числе – зашумлённым.

1. ЛИНИЯ СВЯЗИ

В теории информации изучают свойства процессов, которые имеют место при передаче информации на расстояние при помощи сигналов. При этом большое значение имеют понятия качества и скорости передачи информации. Качество передачи информации тем выше, чем меньше искажения информации на приёмной стороне. С увеличением скорости передачи информации требуется принимать специальные меры, препятствующие потерям информации и снижению качества передачи информации.

Круг проблем составляющих основное содержание раздела теории информации, связанного с техногенной системой связи можно охарактеризовать как исследование методов кодирования для экономического представления сообщений различных источников сообщений и для надежной передачи сообщений по каналам связи с шумом.

Прикладной раздел теории информации базируется на статистическом описании источников сообщений и каналов связи. Здесь большое значение имеет измерение количества информации между сообщениями определяемого исключительно вероятностными свойствами сообщений и не от каких других их свойств независящих. На основе теории информации можно ответить на вопросы о предельных возможностях (т.е. о максимально достижимых характеристиках) различных технических систем связи, определить в какой мере проектируемая система уступает теоретически возможной.

В информационном взаимодействии с окружающей средой человек ограничен возможностями собственных органов чувств. Однако спектр процессов, на основе которых производится передача информации, может быть расширен за счет использования средств связи.

Информация передается в виде сообщений от некоторого источника информации к её приёмнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое **сообщение**, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приёмнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением. Передача информации по каналам связи часто сопровождается воздействием помех, вызывающих искажение и потерю информации. В технике сообщения передают с помощью сигналов, которые являются носителями информации. Основным видом сигналов являются электрические сигналы. В последнее время всё большее распространение получают оптические сигналы, например, в волоконно-оптических линиях передачи информации.

Сообщение - наименьший элемент языка, имеющий идею или смысл, пригодный для общения. В информатике - форма представления информации, имеющая признаки начала и конца, предназначенная для передачи через среду связи. Также форма предоставления информации, совокупность знаков или первичных сигналов, содержащих информацию. Обычно сообщение передается в виде предложения или условного знака. Конкретная форма сообщения называется представлением. Одно и то же сообщение может быть представлено различными способами. Переход от представления к значению сообщения называется интерпретацией.

Жизненный цикл сообщения выглядит следующим образом:

- Отправитель кодирует идею или мысль в сообщение,
- передаёт сообщение через среду общения получателю.
- Получатель получает сообщение и декодирует смысл.

Типы сообщений: запрос/вопрос, ответ, команда, повествование, уведомление, предложение.

Средства связи – совокупность устройств, обеспечивающих преобразование первичного сообщения от источника информации в сигналы заданной физической природы, их передачу, прием и представление в форме удобной потребителю.

Сигнал - изменение физической величины, передающее информацию, кодированную определённым способом. В просторечии может употребляться как синоним слова сообщение. Термин наиболее широко применяется в областях науки и техники, связанных с обработкой и передачей информации, в кибернетике, электронике, радиотехнике, технике связи и др. **Сигнал** в информационной системе, в программировании - набор переданных и принятых данных, передающий информацию, кодированную определённым способом. Антонимами к слову сигнал, в зависимости от контекста, являются термины шум и помеха.

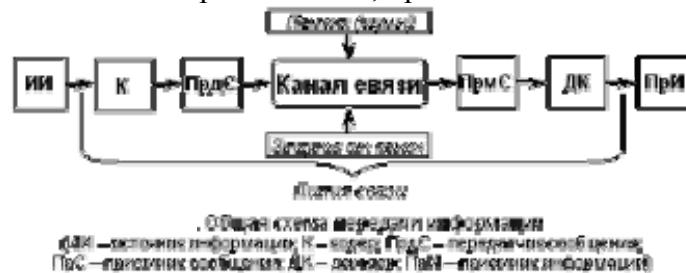
Средств связи существует множество: почта, телефон, радио, телевидение, компьютерные сети и пр. Пример: матрос совершает особые взмахи флажками. Лишь увидев его, мы получаем информацию. Но зная расшифровку жестов, мы можем получить реальную информацию от матроса.



Рис. 1. Последовательность жестов, означающая: «внимание».

Человечество изобрело много способов передачи информации посредством электричества. Телеграф это одно из самых первых способов передачи информации посредством электричества. Для того, чтобы передавать информацию через телеграф была придумана специальная азбука – азбука Морзе. Высокий потенциал в течении короткого времени называли точкой, высокий потенциал в течении длительного времени называли тире. Определенная последовательность точек и тире обозначает одну букву. Например, последовательность точка, точка, точка, пауза, тире, тире, тире, пауза, точка, точка, точка передает информацию о бедствии – *SOS*.

Можно выделить общие элементы средств связи, представленные на **Рис. 1**.



Канал связи – это материальная среда, а также физический или иной процесс, посредством которого осуществляется передача сообщения, т.е. распространение сигналов в пространстве с течением времени.

Каналы связи в зависимости от характера сигналов, передаваемых по ним подразделяются на **дискретные** и **аналоговые**. Примером дискретного канала является компьютерная сеть; аналогового – телефонная линия и радиоканал.

Ниже приведены примеры некоторых каналов связи.

Табл. 1. Примеры каналов связи

Канал связи	Среда	Носитель сообщения	Процесс, используемый для передачи сообщения
Почта, курьеры	Среда обитания человека	Бумага	Механическое перемещение носителя
Телефон, компьютерные сети	Проводник	Электрический ток	Перемещение электрических зарядов
Радио, телевидение	Электромагнитное поле	Электромагнитные волны	Распространение электромагнитных волн
Зрение	Электромагнитное поле	Световые волны	Распространение световых волн
Слух	Воздух	Звуковые волны	Распространение звуковых волн
Обоняние, вкус	Воздух, пища	Химические вещества	Химические реакции
Осязание	Поверхность кожи	Объект, воздействующий на органы осязания	Теплопередача, давление

Любой реальный канал связи подвержен внешним воздействиям, а также в нем могут происходить внутренние процессы, в результате которых искажаются передаваемые сигналы и, следовательно, связанная с ними информация. Такие воздействия называются **шумами (помехами)**. Источники помех могут быть внешними, например, так называемые "наводки" от мощных потребителей электричества или атмосферных явлений, приводящие к появлению нарушений в радиосвязи; одновременное действие нескольких близко расположенных однотипных источников (одновременный разговор нескольких человек). К помехам могут приводить и внутренние особенности данного канала, например, физические неоднородности носителя; паразитные явления в шинах; процессы затухания сигнала в линии связи из-за большой удаленности. Если

уровень помех оказывается соизмерим с интенсивностью несущего сигнала, то передача информации по данному каналу оказывается вообще невозможной. Однако и при относительно низких уровнях шумов они могут вызывать искажения передаваемых сигналов и, следовательно, частичную потерю связанной с ними информации. Существуют и применяются методы защиты от помех, например, экранирование электрических линий связей; улучшение избирательности приемного устройства и т.д. Другим способом защиты от помех является использование специальных методов кодирования информации, о чем речь пойдет ниже.

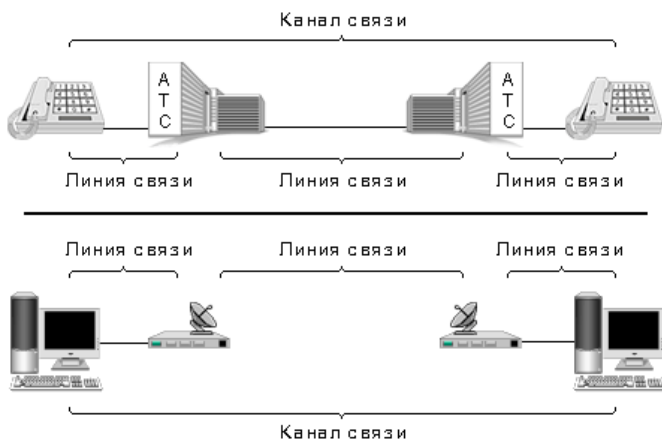
Шум - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Электромагнитная помеха - нежелательное физическое явление или воздействие электрических, магнитных или электромагнитных полей, электрических токов или напряжений внешнего или внутреннего источника, которое нарушает нормальную работу технических средств, или вызывает ухудшение технических характеристик и параметров этих средств. Для целей радиоэлектронной борьбы применяют преднамеренное электромагнитное воздействие, направленное на объект, которое является для него нежелательным, т. е. помехой. По происхождению помехи разделяются на естественные и искусственные.

После прохождения вторичного сообщения по каналу связи оно попадает в **приёмное устройство**, где одновременно преобразуется в форму, необходимую для дальнейшей интерпретации. Если перед передачей применялось кодирование, после приёма вторичное сообщение направляется в **декодер** (ДК) и лишь затем – к получателю (потребителю) информации. При этом декодер может быть совмещен с **преобразователем** (например, телеграфный аппарат или компьютер) или с приемником информации (радист, принимающий сигналы азбуки Морзе и интерпретирующий их).

Понятие **линия связи** охватывает все элементы представленной на **Рис.1** схемы от источника до приемника информации.

Линия связи – совокупность средств связи и канала связи, посредством которых осуществляется передача информации от источника к приемнику.



Характеристиками любой линии связи являются **скорость**, с которой возможна передача сообщения в ней, а также **степень искажения сообщения** в процессе передачи. Из этих параметров вычленим те, что относятся непосредственно к каналу связи, т.е. характеризуют среду и процесс передачи. При этом мы затронем только вопросы передачи по **дискретному каналу связи**.

2. ИСТОЧНИКИ СООБЩЕНИЙ

Источник информации - объект или субъект, порождающий информацию и представляющий её в виде сообщения, т.е. последовательности сигналов.

Источник сообщений – это то, что вырабатывает сообщения. Это устная речь, письмо, газеты, книги, сообщения по радио, телевидению, результаты измерений, представленные в виде последовательности цифр и т. д. Сообщение может поступать в форме последовательности каких-либо кодовых знаков. Нас интересует источник с математической точки зрения, так чтобы можно было отличать источники друг от друга с каких-то обобщенных позиций. С математической точки зрения, под источником информации понимают множество возможных сообщений с заданной на этом множестве вероятностной мерой. Различают дискретные источники и непрерывные. Различие между ними в том, что элементы в дискретном случае образуют счётное множество, а в непрерывном – несчётное множество (континуум).

Дискретный источник определен, если перечислены все его возможные сообщения и указаны их вероятности.

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$$

$$p(x_1), p(x_2), p(x_3), \dots, p(x_m), \quad \sum_{i=1}^m p(x_i) = 1,$$

Тогда энтропия источника, или количество информации, приходящееся в среднем на одно сообщение, будет составлять:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^m p(x_i) \log p(x_i) \quad (1)$$

Это простейшая модель источника сообщений. Реальные источники характеризуются тем, что между элементарными сообщениями существуют статистические связи.

Источник (3.1) является моделью первого, самого грубого приближения. Модель второго приближения учитывает статистику взаимосвязей между соседними буквами $p(x_j/x_i)$. Модель третьего приближения учитывает связи между тремя соседними буквами $p(x_k/x_i x_j)$ и т.д.

$$H_2 = -\sum_i \sum_j p(x_i, x_j) \log p(x_j / x_i)$$

$$H_3 = -\sum_i \sum_j \sum_k p(x_i, x_j, x_k) \log p(x_k / x_i x_j)$$

Известно, что $H(X_2/X_1) \leq H(X)$, $H(X_3/X_1 X_2) \leq H(X_2/X_1)$ и т. д., поэтому энтропии разных степеней приближения составляют монотонно убывающий ряд: $H_0 \geq H_1 \geq H_2 \geq H_3 \geq \dots H_{n-1} \geq H_n$, где H_0 – модель источника без учета статистических характеристик

$$H_0 = \log n.$$

По мере возрастания номера убывание замедляется, и вся цепочка стремится к некоторому пределу $H_R = \lim_{n \rightarrow \infty} H_n$.

Например, если возьмем 32 буквы русского алфавита, то значение энтропии будет убывать в зависимости от номера модели

$$H_0 = \log 32 = 5 \text{ бит} \quad H_1 = -\sum_{i=1} p(x_i) \log p(x_i) = 4,42 \text{ бит}$$

Так как между буквами алфавита существуют взаимосвязи, например в русском языке довольно часто встречаются сочетания: тся, ает, щий и т.д., но нет сочетаний аь, иы и т.д., то модели более высоких номеров будут иметь все меньшее значение энтропии и в пределе стремиться к минимально возможному значению.

Энтропия характеризует среднее количество информации, приходящееся на один символ сообщения. Если источник выдает n символов в секунду, то скорость выдачи информации будет составлять $R_{\text{и}} = nH$.

3. КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Передача информации - физический процесс, посредством которого осуществляется перемещение информации в пространстве. Данный процесс характеризуется наличием следующих компонентов: источник информации; приёмник информации; носитель информации; среда передачи.



В процессе передачи информации обязательно участвуют *источник* и *приёмник* информации: первый передает информацию, второй ее получает. Между ними действует канал передачи информации - *канал связи*.

Канал связи - совокупность технических устройств, обеспечивающих передачу сигнала от источника к получателю.

Кодирующее устройство - устройство, предназначенное для преобразования исходного сообщения источника к виду,

удобному для передачи.

Декодирующее устройство - устройство для преобразования кодированного сообщения в исходное.

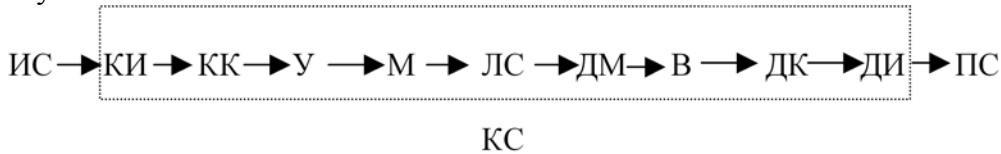
Деятельность людей всегда связана с передачей информации. В процессе передачи информация может теряться и искажаться: искажение звука в телефоне, атмосферные помехи в радио, искажение или затемнение изображения в телевидении, ошибки при передаче в телеграфе. Эти помехи, или, как их

называют специалисты, шумы, искажают информацию. К счастью, существует наука, разрабатывающая способы защиты информации - **криптология**.



Рис. 2. Схема информационного канала

Схема передачи информации с использованием средств информационной техники представлена на рисунке:



Здесь: **ИС** – источник сообщения. Он регистрирует (фиксирует) информацию на каком-либо носителе, в результате чего образуется сигнал. Может выполнять в целом первую фазу обращения информации, а также криптографическое кодирование. В роли ИС могут выступать сканеры, факсимильные аппараты, клавиатуры, компьютеры и т.д. **КИ** – кодер источника. Выполняет эффективное кодирование информации в сигнале в случае необходимости. Данный элемент может отсутствовать в схеме. **КК** – кодер канала. На него возложены функции помехозащищённого кодирования, если передаваемый сигнал подвержен помехам. **У** – уплотнитель сигнала. Способствует передаче нескольких сигналов по одной линии связи ЛС. Может отсутствовать в схеме. **М** – модулятор сигнала. Изменяет информационные характеристики сигналов-носителей, накладывая на него дискретный сигнал. **ЛС** – линия связи – физическая среда (например, воздух, электрическое или магнитное поле) и технические средства в ней, который используются для передачи сигнала на расстояние. **ДМ** – демодулятор. Выполняет выделение дискретного сигнала из сигнала-носителя. Имеет место в схеме только при наличии модулятора М. **В** – устройство выделения уплотненного сигнала. Имеет место в схеме только при наличии уплотнителя У. **ДК** – декодер канала. Выявляет и/или исправляет ошибки, допущенные при передаче сигнала по линии связи ЛС. Присутствует в схеме только при наличии кодера канала КК. **ДИ** – декодер источника. Декодирует эффективные коды. Присутствует в схеме только при наличии кодера источника КИ. **ПС** – получатель сообщения. В его роли может выступать компьютер, принтер, дисплей и т.д. **КС** – канал связи. Технически блоки модулятор (М) и демодулятор (ДМ) реализованы в одном устройстве, которое называется модем (**МО**дулятор-**ДЕМ**одулятор). Аналогично блоки кодеров (КИ и КК) и декодеров (ДИ и ДК) реализованы технически в одном устройстве, называемом кодек (**КО**дер-**ДЕК**одек). Блоки уплотнитель У и блок выделения сигнала В образуют мультиплексор.

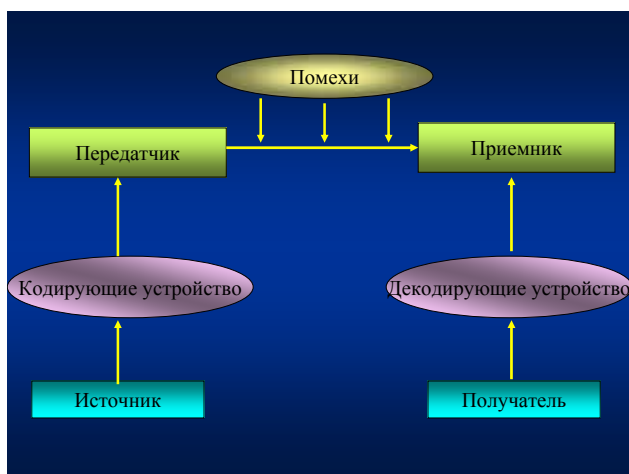
Каналы передачи сообщений характеризуются *пропускной способностью* и *помехозащищённостью*.

Каналы передачи данных делятся на *симплексные* (с передачей информации только в одну сторону (телевидение)) и *дуплексные* (по которым возможно передавать информацию в оба направления (телефон, телеграф)). По каналу могут одновременно передаваться несколько сообщений. Каждое из этих сообщений выделяется (отделяется от других) с помощью специальных фильтров. Например, возможна фильтрация по частоте передаваемых сообщений, как это делается в радиоканалах. Пропускная способность канала определяется максимальным количеством символов, передаваемых ему в отсутствии помех. Эта характеристика зависит от физических свойств канала. Для повышения помехозащищённости канала используются специальные методы передачи сообщений, уменьшающие влияние шумов. Например, вводят лишние символы. Эти символы не несут действительного содержания, но используются для контроля правильности сообщения при получении.

Жизненный цикл сообщения выглядит следующим образом:

- отправитель кодирует идею или мысль в сообщение,
- передаёт сообщение через среду общения получателю.
- получатель получает сообщение и декодирует смысл.

Типы сообщений: запрос/вопрос, ответ, команда, повествование, уведомление, предложение.



В информационных системах существуют следующие виды сообщений.

Дискретное сообщение является конечной последовательностью отдельных символов. Для преобразования дискретного сообщения в сигнал необходимо выполнить операцию кодирования сообщения, при котором повышается скорость и помехоустойчивость передачи информации.

Непрерывное сообщение определяется непрерывной функцией времени. Непрерывные сообщения можно передавать дискретными методами. Для этого непрерывный сигнал (сообщение) подвергают дискретизации во времени и квантованию по уровню. На приёмной стороне выполняется восстановление непрерывной функции по дискретным отсчётам.

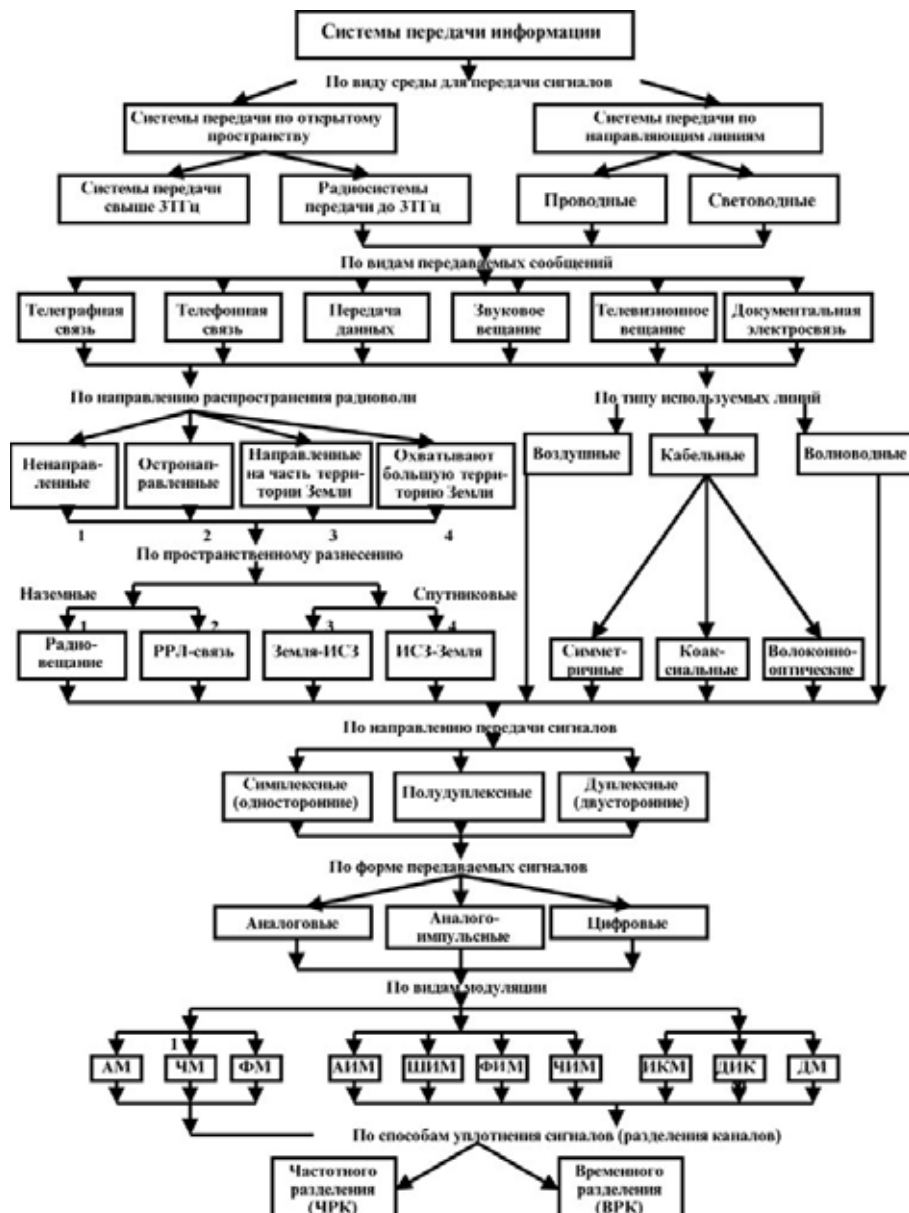


Рис. 3. Системы передачи информации

При математическом описании сообщений формирование дискретных сообщений рассматривают как последовательный случайный выбор того или иного символа из алфавита источника сообщений, т.е. как формирование дискретной случайной последовательности. Формирование непрерывных сообщений представляет собой выбор реализаций (случайных функций) непрерывного случайного процесса. Основными информационными характеристиками являются количество информации в сообщениях, избыточность сообщений, энтропия, производительность источника сообщений, скорость передачи информации.

Передача информации

Для рассмотрения вопросов передачи информации удобно представлять себе, что **получатель** задает **отправителю** вопросы, допускающие только ответы "да" или "нет", так что отправителю остается только выбирать ответы в соответствии со смыслом передаваемого сообщения.

Если они заранее договорятся о стандартной последовательности вопросов, необходимость задавать вопросы отпадет. Эта стандартная последовательность вопросов и есть **код**. Можно говорить о наилучшем (или наиболее экономном) коде.

Например, чтобы угадать задуманное число от 1 до 100 глупо спрашивать про все числа по очереди: "Это не 0?" "А может 1?". Гораздо разумнее разбить числа на группы и последовательно сужать поиск, например: "Это число больше 50?" – "Нет" "Оно больше 25?" и т.д. Важно, что последовательность вопросов (код) заготовлена заранее и известна и отправителю и получателю.

Пропускная способность канала связи

Канал связи можно изобразить следующим образом

(отправитель) → (кодирование) → (декодирование) → (получатель).

Предполагается, что известна вся совокупность потенциально передаваемых сообщений – «ансамбль сообщений» (x_1, x_2, \dots, x_n) , а также известны частоты (вероятности) передаваемых сообщений (p_1, p_2, \dots, p_n) . Источник сообщений характеризуется энтропией

$$H(X) = -\sum p_i \log_2 p_i$$

Канал связи имеет дело не с сообщениями x , а с символами кода z . Будем рассматривать только двоичные коды: 0, 1.

Для символов кода и их комбинаций можно вычислить свою энтропию. Чем она больше, тем больше информации можно передать по каналу. Максимально возможное количество информации, которое можно передать в единицу времени называется **пропускной способностью канала связи**

$$C = \max_{(\text{допустимые коды } z)} I_{\Delta t}(z)$$

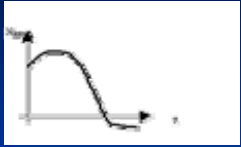
4. СИГНАЛЫ

Важно различать три основные понятия: данные, сигнал, передача.

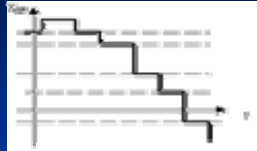
Данные – то, с помощью чего мы описываем явление или объект. Данные имеют разную природу. Если информация представлена в виде аудио или видео данных, то мы говорим об аналоговых данных. Если она представлена в виде текста, то это цифровые данные. Это не означает, что, например, аудио данные нельзя представить в цифровом виде. Это сделать можно, но потребует дополнительных усилий. Сигнал – представление данных. Передача – процесс взаимодействия передатчика и приёмника с целью получения приемником сигналов от передатчика.

Акустические волны имеют непрерывный характер, т.е. значения их основных параметров, например, амплитуды, частоты, меняются со временем непрерывно. Другой пример - видео данные. Яркость изображения, его контрастность также имеют непрерывный характер. Совсем иное дело текст. Он представлен символами, которые проще представлять в виде кодов, например, наборов из нулей и единиц. Эти коды могут быть легко представлены в дискретном или цифровом виде. Коды могут иметь достаточно сложное устройство, например, если мы хотим обнаруживать или исправлять ошибки при передаче.

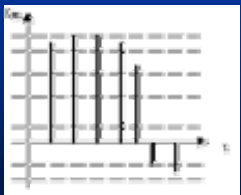
Сигналы



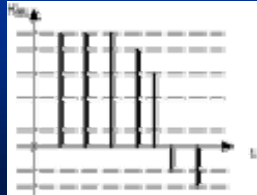
Непрерывный по уровню и по времени сигнал X



Дискретный по уровню и непрерывный по времени сигнал X
Дискретный по уровню и по времени сигнал X



Непрерывный по уровню и дискретный по времени сигнал X



Для того чтобы сообщение можно было передать получателю, необходимо воспользоваться некоторым физическим процессом, способным с некоторой скоростью распространяться от источника к получателю сообщения. Изменяющийся во времени физический процесс, отражающий передаваемое сообщение называется сигналом.

Сигнал - изменение физической величины, передающее информацию, кодированную определённым способом. В просторечии употребляется как синоним слова сообщение. Термин применяется в областях науки и техники, связанных с обработкой и передачей информации, в кибернетике, электронике, радиотехнике, технике связи и др.

Сигнал в информационной системе - набор переданных и принятых данных, передающий информацию, кодированную определённым способом.

В биологии сигнал - событие, имеющее регуляторное/управленческое значение в той системе, в которой оно опознается и потому значимо для неё. В живой клетке сигнал - это событие, имеющее регуляторное значение для функционирования клетки.

Сигнал - физический процесс, содержащий в себе некоторую информацию. На практике чаще всего используются электрические сигналы. При этом носителем информации является изменяющийся во времени ток или напряжение в электрической цепи. Электрические сигналы легче обрабатывать, чем другие, они хорошо передаются на большие расстояния. Математическая модель представления сигнала, как функции времени, является основополагающей концепцией теоретической радиотехники, оказавшейся плодотворной как для анализа, так и для синтеза радиотехнических устройств и систем. В радиотехнике альтернативой сигналу, который несёт полезную информацию, является шум - обычно случайная функция времени, взаимодействующая (например, путем сложения) с сигналом и искажающая его. Основной задачей теоретической радиотехники является извлечение полезной информации из сигнала с обязательным учётом шума.

Шум - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Выделяют аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы.

Аналоговые и цифровые сигналы коренным образом отличаются друг от друга. Условно можно сказать, что они находятся на разных концах одного и того же спектра. Из-за таких существенных различий между двумя типами сигналов для организации «моста» между ними приходится использовать промежуточные устройства, наподобие цифро-аналоговых преобразователей.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал). Обратное преобразование осуществляется при помощи **ЦАП** (цифро-аналогового преобразователя).

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) - устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд). Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

Аналоговый сигнал - сигнал, область определения которого непрерывное пространство, т. е. пространство, не являющееся дискретным. Аналоговые сигналы описываются непрерывными функциями времени, поэтому аналоговый сигнал иногда называют *непрерывным сигналом*.

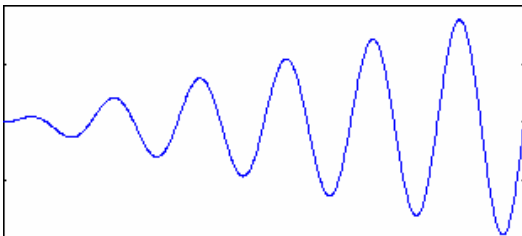


Рис. 4. Аналоговый сигнал

Аналоговый сигнал - сигнал, величина которого непрерывно изменяется во времени. Аналоговый сигнал обеспечивает передачу данных путем непрерывного изменения во времени амплитуды, частоты либо фазы.

Аналоговые сигналы естественным образом передают речь, музыку и изображения. Для использования аналоговых сигналов в системах и сетях осуществляется квантование и аналого-дискретное преобразование.

Аналоговый сигнал - представление данных в виде непрерывно меняющихся значений. Аналоговый электрический сигнал характеризуется различными значениями напряжения или тока (вольт или ампер) и является электрическим представлением исходного возбуждения (звука, света) в пределах динамического диапазона системы

Большинство сигналов имеют аналоговую природу, то есть изменяются непрерывно во времени и могут принимать любые значения на некотором интервале. Аналоговые сигналы описываются некоторой математической функцией времени.

Пример АС - гармонический сигнал - $s(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$. Аналоговые сигналы используются в телефонии, радиовещании, телевидении. Ввести такой сигнал в компьютер и обработать его невозможно, так как на любом интервале времени он имеет бесконечное множество значений, а для точного (без погрешности) представления его значения требуются числа бесконечной разрядности. Поэтому необходимо преобразовать аналоговый сигнал так, чтобы можно было представить его последовательностью чисел заданной разрядности.

Различают два пространства сигналов - пространство L (непрерывные сигналы), и пространство l - пространство последовательностей. Пространство l - пространство коэффициентов Фурье (счетного набора чисел, определяющих непрерывную функцию на конечном интервале области определения), пространство L - пространство непрерывных по области определения (аналоговых) сигналов. При некоторых условиях, пространство L однозначно отображается в пространство l (см. первые две теоремы дискретизации Котельникова).

Аналоговые сигналы описываются непрерывными функциями времени, поэтому аналоговый сигнал иногда называют непрерывным сигналом. Аналоговым сигналам противопоставляются дискретные (квантованные, цифровые). Примеры непрерывных пространств и соответствующих физических величин: прямая: электрическое напряжение; окружность: положение ротора, колеса, шестерни, стрелки аналоговых часов, или фаза несущего сигнала; отрезок: положение поршня, рычага управления, жидкостного термометра или электрический сигнал, ограниченный по амплитуде; различные многомерные пространства: цвет, квадратурно-модулированный сигнал.

Свойства аналоговых сигналов:

- Отсутствие чётко отличимых друг от друга дискретных уровней сигнала приводит к невозможности применить для его описания понятие *информации* в том виде, как она понимается в цифровых технологиях. Содержащееся в одном отсчёте «количество информации» будет ограничено лишь динамическим диапазоном средства измерения.

- Отсутствие избыточности. Из непрерывности пространства значений следует, что любая помеха, внесенная в сигнал, неотличима от самого сигнала и, следовательно, исходная амплитуда не может быть восстановлена. В действительности фильтрация возможна, например, частотными методами, если известна какая-либо дополнительная информация о свойствах этого сигнала (в частности, полоса частот).

Аналоговые сигналы часто используют для представления непрерывно изменяющихся физических величин. Например, аналоговый электрический сигнал, снимаемый с термопары, несет информацию об изменении температуры, сигнал с микрофона - о быстрых изменениях давления в звуковой волне, и т. п.

Дискретный сигнал

Дискретизация аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени. Эти значения называются *отсчётами*. Δt называется *интервалом дискретизации*.

Частота дискретизации (или **частота семплирования**) - частота взятия отсчётов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации (в частности, аналого-цифровом преобразователе). Измеряется в Герцах. Термин применяется и при обратном, цифро-аналоговом преобразовании, особенно если частота дискретизации прямого и обратного преобразования выбрана разной (Данный приём, называемый также «Масштабированием времени», встречается, например, при анализе сверхнизкочастотных звуков, издаваемых морскими животными). Чем выше частота дискретизации, тем более широкий спектр сигнала может быть представлен в дискретном сигнале. Как следует из теоремы Котельникова, для того чтобы однозначно восстановить исходный сигнал, частота дискретизации должна более чем в два раза превышать наибольшую частоту в спектре сигнала.

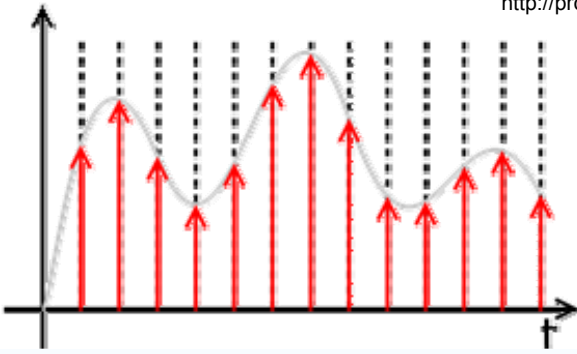


Рис. 5. Дискретный сигнал

Квантованный сигнал

При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, количество которых должно быть представлено в числах заданной разрядности. Расстояния между этими уровнями называется шагом квантования Δ . Число этих уровней равно N (от 0 до $N-1$). Каждому уровню присваивается некоторое число. Отсчеты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается число, соответствующее некоторому уровню квантования. Каждый уровень квантования кодируется двоичным числом с n разрядами. Число уровней квантования N и число разрядов n двоичных чисел, кодирующих эти уровни, связаны соотношением $n \geq \log_2(N)$.

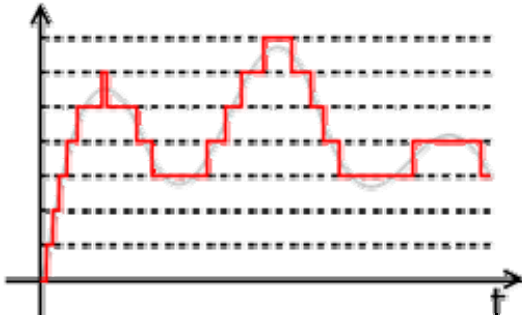


Рис. 6. Квантованный сигнал

Квантование - в информатике разбиение диапазона значений непрерывной или дискретной величины на конечное число интервалов. Существует также векторное квантование - разбиение пространства возможных значений векторной величины на конечное число областей. Квантование часто используется при обработке сигналов, в том числе при сжатии

звука и изображений. Простейшим видом квантования является деление целочисленного значения на натуральное число, называемое коэффициентом квантования.

Однородное (линейное) квантование - разбиение диапазона значений на отрезки равной длины. Его можно представлять как деление исходного значения на постоянную величину (*шаг квантования*) и взятие целой части от частного: $y_q = \left\lfloor \frac{y - y_0}{h} \right\rfloor$. Не следует путать квантование с дискретизацией (и, соответственно, шаг квантования с частотой дискретизации).

Дискретизация - процесс перевода непрерывного аналогового сигнала в дискретный или дискретно-непрерывный сигнал. Обратный процесс называется *восстановлением*. При дискретизации только по времени, непрерывный аналоговый сигнал заменяется последовательностью отсчётов, величина которых может быть равна значению сигнала в данный момент времени. Возможность точного воспроизведения такого представления зависит от интервала времени между отсчётами Δt . Согласно теореме Котельникова:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2F_{\max}}, \text{ где } F_{\max} - \text{наибольшая частота спектра сигнала.}$$

При дискретизации изменяющаяся во времени величина (сигнал) замеряется с заданной частотой (частотой дискретизации), таким образом, дискретизация разбивает сигнал по временной составляющей (на графике - по горизонтали). Квантование же приводит сигнал к заданным значениям, то есть, разбивает по уровню сигнала (на графике - по вертикали). Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым.

При оцифровке сигнала уровень квантования называют также **глубиной дискретизации** или **битностью**. Глубина дискретизации измеряется в битах и обозначает количество бит, выражающих амплитуду сигнала. Чем больше глубина дискретизации, тем точнее цифровой сигнал соответствует аналоговому. В случае однородного квантования глубину дискретизации называют также динамическим диапазоном и измеряют в децибелах ($1 \text{ бит} \approx 6 \text{ дБ}$).

Квантование по уровню - представление величины отсчётов цифровыми сигналами. Для этого диапазон напряжения сигнала от U_{\min} до U_{\max} делится на $2n$ интервалов. Величина получившегося интервала:

$$\Delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2n}.$$

Каждому интервалу присваивается n -разрядный двоичный код - номер интервала, записанный двоичным числом. Каждому отсчёту сигнала присваивается код того интервала, в который попадает значение напряжения этого отсчёта. Таким образом, аналоговый сигнал представляется последовательностью двоичных чисел, соответствующих величине сигнала в определённые моменты

времени, то есть цифровым сигналом. При этом каждое двоичное число представляется последовательностью импульсов высокого (1) и низкого (0) уровня.

Цифровой сигнал – дискретный сигнал, квантованный по амплитуде. Сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся ёмкость коммуникационного канала используется для передачи одного сигнала. Цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Дискретный цифровой сигнал сложнее передавать на большие расстояния, чем аналоговый сигнал, поэтому его предварительно модулируют на стороне передатчика, и демодулируют на стороне приёмника информации. Использование в цифровых системах алгоритмов проверки и восстановления цифровой информации позволяет существенно увеличить надёжность передачи информации.

Для того чтобы представить аналоговый сигнал последовательностью чисел конечной разрядности, его следует сначала превратить в дискретный сигнал, а затем подвергнуть квантованию. В результате сигнал будет представлен таким образом, что на каждом заданном промежутке времени известно приближённое (квантованное) значение сигнала, которое можно записать целым числом. Если записать эти целые числа в двоичной системе, получится последовательность нулей и единиц, которая и будет являться цифровым сигналом.

Цифровой сигнал получают из аналогового или синтезируют непосредственно в цифре. Аналого-цифровое преобразование предполагает две основные операции: дискретизация и квантование. Дискретизация - замена непрерывного сигнала рядом отсчетов его мгновенных значений, взятых через равные промежутки времени. По теореме Котельникова - Шенона дискретный сигнал может быть впоследствии полностью восстановлен при условии, что частота дискретизации как минимум вдвое превосходит верхнюю частоту спектра сигнала. Затем отсчеты квантуются по уровню: каждому из них присваивается дискретное значение, ближайшее к реальному. Точность квантования определяется разрядностью двоичного представления. Чем выше разрядность, тем больше уровней квантования ($2N$, где N — число разрядов) и ниже шумы квантования — погрешности из-за округления до ближайшего дискретного уровня.

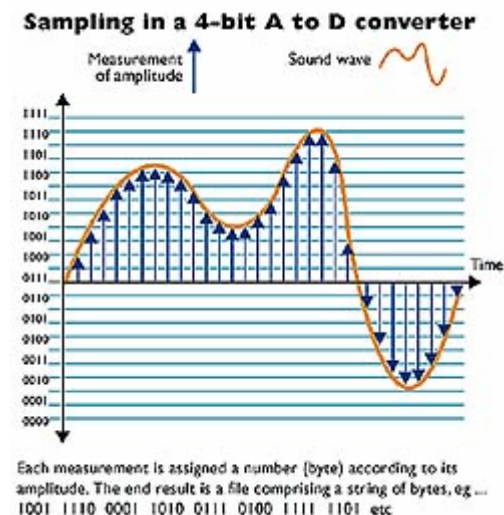


Рис. 7. Оцифровка аналогового сигнала

Все виды информации могут быть представлены при передаче в виде электромагнитных импульсов. В зависимости от среды передачи и организации системы передачи данных могут применять либо аналоговые, либо цифровые сигналы.

Любой сигнал можно рассматривать либо как функцию времени, т.е. то, как различные параметры сигнала изменяются со временем, либо как функцию частоты. Последнее связано с тем, что любой сигнал можно рассматривать как композицию составляющих сигналов, определенной частоты. Такие составляющие сигнала называют гармониками разной частоты. Важной характеристикой сигнала является ширина его полосы, которая покрывает весь спектр частот гармоник, составляющих сигнал. Чем шире эта полоса, тем больше информационная емкость сигнала, но тем более строгие требования такой сигнал предъявляет к той среде, по которой он может эффективно распространяться.

Основную проблему построения системы передачи данных представляет искажение сигнала при передаче. Это происходит под влиянием нескольких причин, основными из которых являются затухание, неравномерность затухания по частоте, искажение формы, разные виды шумов. Шумы возникают вследствие ряда причин, например таких, как термодинамические свойства проводника, взаимные наводки гармоник, составляющих сигнал, внешние электромагнитные воздействия. В случае аналогового сигнала эти искажения носят случайный характер и приводят к потере информации. В случае цифрового сигнала они приводят к ошибкам передачи.

При создании любой системы передачи данных приходится искать компромисс между четырьмя основными факторами: шириной полосы сигнала, скоростью передачи сигнала, уровнем шумов и искажений сигнала, допустимым уровнем ошибок при передаче.

Сообщение - это событие (получение записки, пароля, наблюдение сигнальной ракеты) и является сигналом только в той системе отношений, в которой сообщение опознается значимым (например, в условиях боевых действий сигнальная ракета - событие, значимое только для того наблюдателя, которому оно адресовано).

В технике сигнал - всегда событие: сработал датчик - сигнал; нажатие кнопки – сигнал. Изменение состояния любого компонента технической системы, опознаваемое логикой системы как значимое, является сигналом. Сигнал - значимое событие, но значимо оно не для всех. Событие, неопознаваемое данной системой как значимое сигналом не является. В информатике сообщение - форма представления информации, имеющая признаки начала и конца, предназначенная для передачи через среду связи. Также форма предоставления информации, совокупность знаков или первичных сигналов, содержащих информацию.

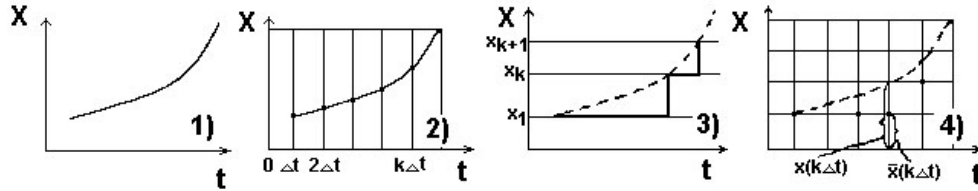


Рис. 8. Типы сигналов.

Сообщение может быть (когда информация представлена в виде первичных сигналов: речь, музыка) а может не быть (когда информация представлена в виде совокупности знаков) функцией времени. Сигнал всегда является функцией времени. В зависимости от того, какие значения могут принимать аргумент (время t) и уровни сигналов их делят на 4 типа.

1) Непрерывный или аналоговый сигналы (случайные сигналы этого типа называются непрерывными случайными процессами). Они определены для всех моментов времени и могут принимать все значения из заданного диапазона. Физические процессы, порождающие сигналы обычно являются непрерывными. Этим и объясняется второе название сигналов данного типа аналоговый, т.е. аналогичный порождающему процессу.

2) Дискретизированный или дискретно непрерывный сигнал (случайный сигнал этого типа называют процессом с дискретным временем или непрерывной случайной последовательностью). Он определен лишь в отдельные моменты времени и может принимать любые значения уровня. Временной интервал Δt между соседними отсчётами называется шагом дискретизации. Часто такие сигналы называют дискретными по времени.



Чем больше это отношение, тем менее заметен шум.

3) Дискретные по уровню или квантованные сигналы (случайные сигналы этого типа называют дискретными случайными процессами). Они определены для всех моментов времени и принимают лишь разрешенные значения уровней отделенные от друг друга на величину шага квантования $\Delta x = x_{k+1} - x_k$.

4) Дискретные по уровню и по времени сигналы (случайные сигналы этого типа называют дискретными случайными последовательностями). Они определены лишь в отдельные разрешенные моменты времени и могут принимать лишь разрешенные значения уровней.

Отношение сигнал/шум - безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума. Обычно выражается в децибелах.

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2$$

где P - средняя мощность, а A - среднеквадратичное значение амплитуды. Оба сигнала измеряются в полосе пропускания системы.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)$$

На практике отношение сигнал/шум определяют путем измерения напряжения шума и сигнала на



выходе усилителя или другого звуковоспроизводящего устройства среднеквадратичным милливольтметром либо анализатором спектра. Современные усилители и другая высококачественная аудио-аппаратура имеет показатель сигнал/шум около 100-120 дБ.

Как уже было сказано, любой сигнал можно рассматривать как функцию времени, либо как функцию частоты. В первом случае эта функция показывает, как меняются со временем параметры сигнала, например, напряжение или ток. Если эта функция имеет непрерывный характер, то говорят о непрерывном сигнале. Если эта функция имеет дискретный вид, то говорят о дискретном сигнале. Частотное представление функции основано на том факте, что любая функция от вещественной переменной может быть

Развертка по времени

Развертка по времени осуществляется за счет того, что наблюдение за $Z(t)$ (непрерывная функция, описывающая сигнал) проводится не непрерывно, а только в определенные моменты времени с интервалом:

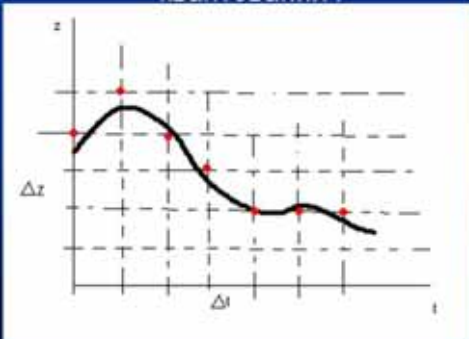
$$\Delta t = \frac{t_n - t_0}{n}$$

представлена в виде ряда Фурье (чем больше гармоник, тем точнее форма сигнала, поэтому сигнал в цифровой форме требует большого числа гармоник, чтобы форма сигнала имела ступенчатый вид). Ясно, что на практике нельзя учесть бесконечно много гармоник. Все их учитывать и не надо потому, что энергия сигнала распределяется не равномерно между гармониками разной частоты. В общем случае соотношение здесь таково, что низкочастотные составляющие несут большую часть энергии. Однако, чем больше составляющих, тем точнее можно воспроизвести вид функции. Ни в какой среде сигнал не может передаваться без

потери энергии. Разные среды искажают форму сигнала и поглощают его энергию в зависимости от частоты сигнала по-разному. С ростом частоты искажения растут. Любая среда передачи ограничивает

Квантование по величине

отображение значения $Z(t)$ в конечное множество чисел, кратных так называемому шагу квантования.



максимальную частоту передаваемого сигнала, а, следовательно, и частоту гармоник, которые можно использовать для аппроксимации функции, описывающей изменение амплитуды сигнала во времени. Тем самым аппроксимация (точность воспроизведения формы) сигнала ухудшается и понижается скорость передачи.

Характеристику канала, определяющую спектр частот, которые физическая среда, из которой сделана линия связи, образующая канал, пропускает без существенного понижения мощности сигнала, называют полосой пропускания канала. Значение слов «существенного понижения мощности» определяется в конкретных случаях. Обычно падение мощности сигнала считают существенным, если оно составляет более 50% ее начального значения. Полосу пропускания канала можно ограничивать искусственно с помощью специального

частотного фильтра. Большое значение также имеет количество уровней, которое может иметь сигнал. Чем больше число уровней сигнала, тем больше информации можно передать за один переход с уровня на уровень. Например, если есть только два уровня сигнала, соответствующие 0 и 1, то для передачи 8-

Теорема отсчетов Котельникова

Непрерывный сигнал можно полностью отобразить и точно воссоздать по последовательности измерений или отсчетов величины этого сигнала через одинаковые интервалы времени, меньшие или равные половине периода максимальной частоты, имеющейся в сигнале.

разрядного кода символа, нам потребуется восемь сигналов. Если же у нас есть сигнал, который может иметь восемь уровней, то потребуется только три таких сигнала, т.е. три изменения уровня сигналов. При этом, если скорости изменения уровня сигнала при его передаче в первом и во втором случаях одинаковы, то скорость передачи данных во втором случае будет выше, более чем в два раза.

При аналоговой и цифровой передачах факторы, искажающие передаваемый сигнал, влияют по-разному. Поскольку при передаче всегда происходит потеря энергии сигнала, то для передачи на большие расстояния передаваемый сигнал надо периодически усиливать. Однако при этом будет усиливаться и шум, примешанный к сигналу при передаче. После серии таких

Достоинства дискретной формы

- высокая помехоустойчивость
- простота и надежность устройств по обработке информации
- точность обработки информации
- универсальность устройств

усиленной форма сигнала может измениться до неузнаваемости. В случае цифровых сигналов это приведет к ошибке передачи, а в случае аналоговых сигналов – искажению или просто потере сигнала.

5. ИЗБЫТОЧНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

Если бы сообщения передавались бы с помощью равновероятных букв алфавита и между собой статистически независимых, то энтропия

таких сообщений была бы максимальной. На самом деле реальные сообщения строятся из не равновероятных букв алфавита с наличием статистических связей между буквами. Поэтому энтропия реальных сообщений – H_p , оказывается много меньше оптимальных сообщений – H_0 . Допустим, нужно передать сообщение, содержащее количество информации, равное I . Источнику, обладающему энтропией на букву, равной H_p , придется затратить некоторое число n_p , т. е. $I = n_p H_p$. Если энтропия источника была бы H_0 , то пришлось бы затратить меньше букв на передачу этого же количества информации $I = n_0 H_0$ $n_0 = I/H_0 < n_p$.

Таким образом, часть букв $n_p - n_0$ являются как бы лишними, избыточными. Таким образом, мера удлинения реальных сообщений по сравнению с оптимально закодированными и

$$D = 1 - \frac{H_p}{H_0} = 1 - \frac{n_0}{n_p} = \frac{n_p - n_0}{n_p} \quad (2)$$

представляет собой избыточность D .

Но наличие избыточности нельзя рассматривать как признак несовершенства источника сообщений. Наличие избыточности способствует повышению помехоустойчивости сообщений. Высокая избыточность естественных языков обеспечивает надежное общение между людьми.

6. КАНАЛЫ СВЯЗИ

6.1 Дискретный канал связи

Характеристиками любой линии связи являются **скорость**, с которой возможна передача сообщения в ней, а также **степень искажения сообщения** в процессе передачи. Рассмотрим их сначала на примере дискретного канала связи.

Дискретный канал – канал связи, используемый для передачи дискретных сообщений.

Упрощенная схема передачи информации по дискретному каналу связи представлена на **Рис. 1**.

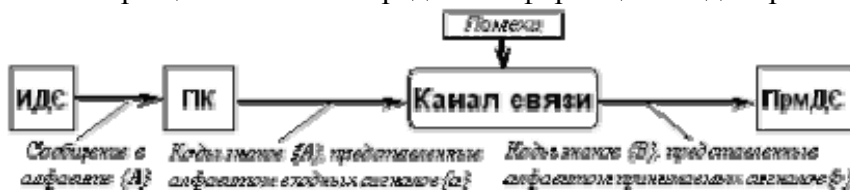


Рис. 9. Схема дискретного канала передачи информации

Источник дискретных сообщений (ИДС) использует для представления информации первичный алфавит $\{A\}$. **Первичный кодер (ПК)** кодирует знаки первичного алфавита n элементарными сигналами с алфавитом $\{a\}$. Действие помех в процессе передачи может состоять в том, что алфавит принимаемых сигналов будет отличаться от алфавита входных сигналов как их числом так и характеристиками – пусть это будет алфавит $\{b\}$, содержащий m элементарных сигналов. Несовпадение алфавитов сигналов приводит к тому, что на выходе канала появляются такие комбинации элементарных сигналов, которые не могут быть интерпретированы как коды знаков первичного алфавита. Другими словами, алфавит приемника вторичного сообщения (ПрмДС) $\{B\}$ может не совпасть с алфавитом $\{A\}$. Для простоты будем считать, что декодер вторичных сигналов совмещен с приемником.

Первичный алфавит - множество символов, при помощи которых записываются исходные сообщения.

Вторичный алфавит - множество символов, из которых могут состоять кодовые слова.

Вводя количественные характеристики процесса передачи информации, постараемся выделить из них те, которые зависят только от свойств канала, и те, которые определяются особенностями источника дискретного сообщения.

Дискретный канал считается заданным, если известны:

- время передачи одного элементарного сигнала;
- исходный алфавит элементарных сигналов $\{a\}$, т.е. все его знаки a_i ($i = 1 \dots n$, где n – число знаков алфавита $\{a\}$);
- n значений вероятностей появления элементарных сигналов на входе $p(a_i)$; эти вероятности называются *априорными* (поскольку они определяются не свойствами канала, а источником сообщения, т.е. являются внешними по отношению к каналу и самому факту передачи сообщения);
- алфавит сигналов на выходе канала $\{b\}$, т.е. все знаки b_j ($j = 1 \dots m$, где m – число знаков алфавита $\{b\}$); в общем случае $n \neq m$;
- значения условных вероятностей $p_{ai}(b_j)$, каждая из которых характеризует вероятность появления на выходе канала сигнала b_j при условии, что на вход был послан сигнал a_i ; поскольку эти вероятности определяются свойствами самого канала передачи, они называются *апостериорными*; очевидно, количество таких вероятностей равно $n \cdot m$.

$$\begin{matrix} p_{a_1}(b_1), p_{a_1}(b_2), \dots, p_{a_1}(b_m) \\ p_{a_2}(b_1), p_{a_2}(b_2), \dots, p_{a_2}(b_m) \\ \dots\dots\dots \\ p_{a_n}(b_1), p_{a_n}(b_2), \dots, p_{a_n}(b_m) \end{matrix}$$

Очевидно также, что для каждой строки выполняется условие нормировки:

$$\sum_{j=1}^m p_{a_i}(b_j) = 1 \quad (j = 1 \dots n)$$

Все остальные характеристики дискретного канала могут быть определены через перечисленные параметры.

Дискретный канал называется **однородным**, если для любой пары i и j условная вероятность $p_{ai}(b_j)$ с течением времени не изменяется (т.е. влияние помех все время одинаково).

Дискретный канал называется **каналом без памяти**, если $p(a_i)$ и $p_{ai}(b_i)$ не зависят от места знака в первичном сообщении (т.е. отсутствуют корреляции знаков).

Будем считать, что для передачи используются колебательные или волновые процессы – с практической точки зрения такие каналы представляют наибольший интерес (в частности, к ним относятся компьютерные линии связи).

Введем ряд величин, характеризующих передачу информации по каналу.

6.2 Ширина полосы пропускания

Любой преобразователь, работа которого основана на использовании колебаний (электрических или механических) может формировать и пропускать сигналы из ограниченной области частот. Пример с телефонной связью приводился выше. То же следует отнести и к радио и телевизионной связи – весь частотный спектр разделен на диапазоны (ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ, ДМВ), в пределах которых каждая станция занимает свой под диапазон, чтобы не мешать вещанию других.

Полоса пропускания – разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в таких сетях посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно принимать и передавать. Узкополосные системы передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты.

Ширина полосы пропускания - интервал частот, используемый данным каналом связи для передачи сигналов.

Для построения теории важна не сама ширина полосы пропускания, а максимальное значение частоты из данной полосы (ν_m), поскольку именно им определяется длительность элементарного импульса: τ

$$\tau_0 = \frac{1}{\nu_m} \quad (3)$$

Другими словами, каждые τ секунд по каналу можно передавать импульс или паузу, связывая с их последовательностью определенные коды. Использовать сигналы большей длительности, чем τ , в принципе, возможно (например, 2τ) – это не приведёт к потере информации, хотя снизит скорость её передачи по

каналу. Использование же сигналов более коротких, чем τ , может привести к информационным потерям, поскольку информационный параметр сигнала будет принимать какие-то промежуточные значения между заданными дискретными (например, 0 и 1), что затруднит их интерпретацию. Следовательно, по дискретному каналу за единицу времени можно передавать не более ν_m элементарных сигналов.

Если канал является аналоговым, то ν_m характеризует число полных колебаний параметра за единицу времени, с каждым из которых можно связать два элементарных сигнала; по этой причине связь τ и ν_m оказывается иной:

$$\tau = \frac{1}{2\nu_m}$$

В дальнейшем, как уже указывалось, мы будем рассматривать лишь дискретный канал и, следовательно, использовать (3).

Возможны частные случаи, когда передача ведется на единственной частоте, создаваемой, например, тактовым генератором; тогда, очевидно, ν_m равна тактовой частоте.

Зная τ , можно найти количество элементарных сигналов, передаваемое по каналу за единицу времени:

$$L = \frac{1}{\tau}$$

(очевидно, если известна ν_m , то $L = \nu_m$). Если код знака первичного алфавита состоит из k_i элементарных сигналов, время его передачи по каналу составит $t_i = k_i \cdot \tau$, а среднее время передачи кодовой комбинации одного знака первичного алфавита будет равно $t = K(A, a) \cdot \tau$.

6.3 Пропускная способность дискретных каналов связи

Пропускная способность – метрическая характеристика, показывающая соотношение количества проходящих единиц (информации, предметов, объема) в единицу времени через канал, систему, узел. Используется в различных сферах: в связи и информатике, пропускная способность – количество проходящей информации; в транспорте, машиностроении и т.п. Может измеряться в различных, иногда сугубо специализированных, единицах – штуки, кБит/сек, тонны, кубические метры и т.д. В информатике определение пропускной способности обычно применяется к каналу связи и определяется количеством переданной/полученной информации за единицу времени.

Пропускная способность – один из важнейших с точки зрения пользователей факторов. Она оценивается количеством данных, которые сеть может передать в единицу времени от одного подсоединенного к ней устройства к другому.

С передачей одного элементарного сигнала связано некоторое количество информации I_s . Если общее число различных элементарных сигналов n , а вероятности их появления $p(a_i)$ ($i = 1 \dots n$), то согласно формуле Шеннона:

$$I_s = -\sum_{i=1}^n p(a_i) \log_2 p(a_i)$$

Оптимальным будет такой вариант кодирования, при котором появление всех элементарных сигналов (знаков вторичного алфавита) оказывается равновероятным – в таком случае:

$$I_s = I_{smax} = \log_2 n$$

Это значение является предельным (наибольшим) для информационного содержания элементарного сигнала выбранного вторичного алфавита. Поскольку такое количество информации передается за время τ , можно ввести величину, характеризующую предельную интенсивность информационного потока через канал – *пропускную способность канала* C :

$$C = \frac{I_s^{\max}}{\tau} = L \cdot I_s^{\max} \quad (4)$$

Данная величина является характеристикой канала связи, поскольку зависит только от его особенностей. Это выражение служит определением пропускной способности как идеального канала (без помех), так и реального канала с помехами – просто, как мы увидим далее, информационное содержание элементарного сигнала в реальном канале оказывается меньше $\log_2 n$.

Если I_{smax} выражено в битах, а τ_0 – в секундах, то единицей измерения C будет бит/с. При отсутствии в канале связи помех $I_{smax} = \log_2 n$; тогда

$$C_0 = L \cdot \log_2 n = \frac{\log_2 n}{\tau} = \nu_m \cdot \log_2 n \quad (5)$$

– максимально возможное значение пропускной способности (это обстоятельство отражено индексом "0"); в реальном канале $I_{\max} \leq \log_2 n$ и, следовательно, $C \leq C_0$.

Пусть количество информации, которое передается по каналу связи за время T равно $L_T = H_T(X) - H_T(X/Y)$.

Если передача сообщения длится T единиц времени, то скорость передачи информации составит $R = \frac{L_T}{T} = \frac{1}{T} [H_T(X) - H_T(X/Y)] = H(X) - H(X/Y)$.

Это количество информации, приходящееся в среднем на одно сообщение. Если в секунду передается n сообщений, то скорость передачи будет составлять $R = n[H(X) - H(X/Y)]$.

Пропускная способность канала есть максимально достижимая для данного канала скорость передачи информации:

$$C = \max R = n[H(X) - H(X/Y)]_{\max} \quad (6)$$

Или максимальное количество информации, передаваемое за единицу времени:

$$C = nI(X, Y)_{\max}$$

Информационная скорость или скорость передачи информации, определяется средним количеством информации, которое передается в единицу времени и измеряется (бит/сек): $R = nH$.

Для равновероятных сообщений составленных из равновероятных взаимно независимых символов

$$R = \frac{1}{\tau} \log m$$

В случае если символы не равновероятны $R = -\frac{1}{\tau} \sum_i p_i \log p_i$

В случае если символы имеют разную длительность

$$R = -\frac{\sum_i p_i \log p_i}{\sum_i \tau_i p_i} \quad (7)$$

Выражение для пропускной способности отличается тем, что характеризуется максимальной энтропией

$$C_{\max} = \frac{H_{\max}}{\tau} \text{ бит/сек}$$

Для двоичного кода $C_{\max} = \frac{\log 2}{\tau} = \frac{1}{\tau} \text{ бит/сек}$

Пропускная способность является важнейшей характеристикой каналов связи. Возникает вопрос: какова должна быть пропускная способность канала, чтобы информация от источника X к приемнику Y поступала без задержек? Ответ на этот вопрос даёт первая теорема Шеннона:

Если имеется источник информации с энтропией $H(x)$ и канал связи с пропускной способностью C , то если $C > H(X)$, то всегда можно закодировать достаточно длинное сообщение таким образом, что оно будет передано без задержек. Если же, напротив, $C < H(X)$, то передача информации без задержек невозможна.

В любом реальном канале всегда присутствуют помехи. Однако, если их уровень настолько мал, что вероятность искажения практически равна нулю, можно условно считать, что все сигналы передаются неискаженными. В этом случае среднее количество информации, переносимое одним символом равно $I(X, Y) = I(X, X) = H(X)$. Максимальное значение $H_{\max} = \log m$. Следовательно, пропускная способность дискретного канала без помех за единицу времени равна

$$C = n \log m$$

Реальные каналы характеризуются тем, что на каналы всегда воздействуют помехи. Пропускная способность дискретного канала с помехами вычисляется по формуле

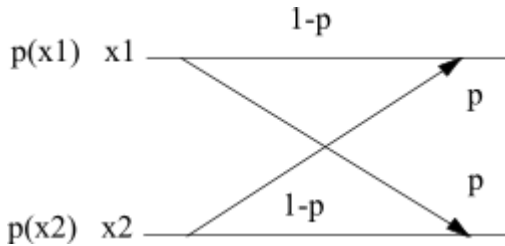
$$C = n[H(Y) - H(Y/X)]_{\max}$$

Где средняя, условная энтропия со стороны приемника сигналов

$$H(Y/X) = -\sum_i \sum_j p(x_i y_j) \log p(y_j/x_i) = -\sum_i p(x_i) \sum_j p(y_j/x_i) \log p(y_j/x_i)$$

А энтропия принимаемых сигналов определяется из условия максимального значения

$$H(y) = \log m.$$



Пример 1. Пусть требуется определить пропускную способность бинарного канала связи. При этом с вероятностью p каждый из двоичных сигналов может перейти в противоположный сигнал.

Рис. 10. Симметричный канал передачи сигналов в условиях помех, где x_1 и x_2 передаваемые сигналы типа “0” или “1”, y_1 и y_2 , принимаемые сигналы

На **Рис. 10** представлена модель передачи бинарных сигналов. $1-p$ вероятность неискаженной передачи сигналов; p - вероятность искажения сигналов

Матрица для нахождения условной вероятности

$$P(y/x) = \begin{matrix} & \begin{matrix} y_1 & y_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P(y_1/x_1) & P(y_2/x_1) \\ P(y_1/x_2) & P(y_2/x_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-p & p \\ p & 1-p \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Найдем полную условную энтропию системы y относительно x

$$H(y/x) = -\sum_i p(x_i) \sum_j p(y_j/x_i) \log p(y_j/x_i) = -p(x_1) [(1-p_n) \log(1-p_n) + p_n \log p_n] - p(x_2) [p_n \log p_n + (1-p_n) \log(1-p_n)] = -p(x_1) + p(x_2) [p_n \log p_n + (1-p_n) \log(1-p_n)]$$

Откуда

$$H(y/x) = -p_n \log p_n - (1-p_n) \log(1-p_n)$$

$H(y)$ находим из условия максимального значения

$$H(y) = \log 2 = 1$$

Формула для нахождения пропускной способности бинарного канала связи будет иметь вид

$$C = n [1 + p_n \log p_n + (1-p_n) \log(1-p_n)]$$

График функции представлен на Рис. 11. Наибольшее значение эта функция принимает при $p=0$ (то есть при отсутствии помех) и при $p=1$ (т. е. при негативной передаче). При $p=1/2$ пропускная способность минимальна.

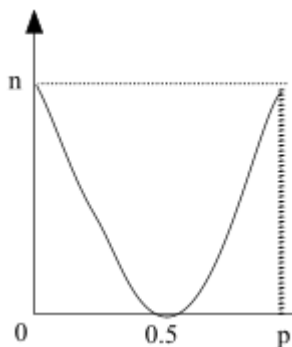


Рис. 11. График функции $C=f(p)$

Пример 2. Рассмотрим более общий случай передачи по дискретному каналу. Найдем пропускную способность m -ичного канала связи.

На **Рис. 12** представлена модель передачи m -ичных сигналов, где x_1, x_2, \dots, x_m источники информации, y_1, y_2, \dots, y_m приёмники информации.

Вероятность ошибки – p . Вероятность безошибочной передачи сигналов равняется $1-p$, а в случае ошибки переданный сигнал может с одинаковой вероятностью (равной $p/(m-1)$) быть воспринят как любой из $m-1$ отличных от него сигналов.

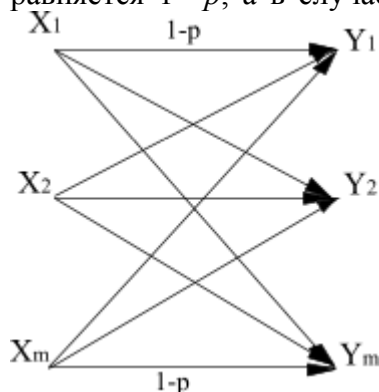


Рис. 12. m -ичный канал передачи информации

Матрица условных вероятностей имеет вид

$$p(y/x) = \begin{bmatrix} 1-p & \frac{p}{m-1} & \frac{p}{m-1} \\ \frac{p}{m-1} & 1-p & \frac{p}{m-1} \\ \frac{p}{m-1} & \frac{p}{m-1} & 1-p \end{bmatrix}$$

Полная условная энтропия системы Y относительно X

$$H(y/x) = -(1-p)\log(1-p) - (m-1)\frac{p}{m-1}\log\left(\frac{p}{m-1}\right)$$

$$H(y) = \log m$$

Формула для нахождения пропускной способности m -ного канала связи будет иметь вид:

$$C = n \left[\log m + (1-p)\log(1-p) + (m-1)\frac{p}{m-1}\log\left(\frac{p}{m-1}\right) \right]$$

График функции $C(p)$ пропускной способности канала связи при $m=4$ представлен на **Рис.13**

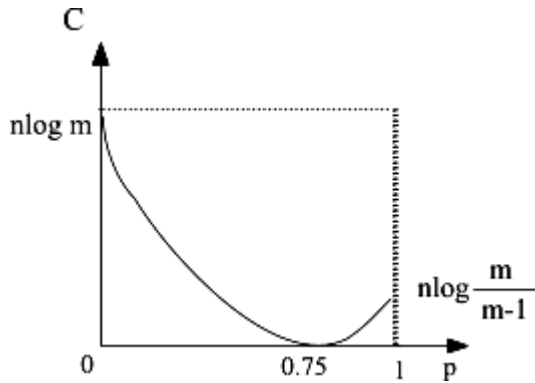


Рис.13. График функции $C(p)$

Эта функция максимальна при $p=0$, при вероятности $p = \frac{m-1}{m} = 0.75$

$$C = 0. \text{ При } p=1 \quad C = n \log \frac{m}{m-1}.$$

Для дискретных каналов с помехами Шеннон дал вторую теорему: Пусть имеется источник информации X , энтропия которого в единицу времени равна $H(X)$, и канал с пропускной способностью C . Если $H(X) > C$, то при любом кодировании передача сообщений без задержек и искажений невозможна. Если же $H(X) < C$, то любое достаточно длинное сообщение можно всегда закодировать так, что оно будет передано без задержек и искажений с вероятностью сколь угодно близкой к единице.

6.4 Скорость передачи информации по дискретному каналу

Если источник выдает L элементарных сигналов в единицу времени, а средняя длина кода одного знака составляет $K(A, a)$, то, очевидно, отношение $L/K(A, a)$ будет выражать число знаков первичного алфавита, выдаваемых источником за единицу времени. Если с каждым из них связано среднее количество информации $I(A)$, то можно найти общее количество информации, передаваемой источником за единицу времени – эта величина называется *скоростью передачи* или *энтропией* источника (будем обозначать её J):

$$J = \frac{L}{K(A, a)} \cdot I(A) = \frac{I^{(A)}}{\tau \cdot K(A, a)} \quad (8)$$

Энтропия источника, в отличие от пропускной способности, является характеристикой источника, а не канала связи. Размерностью J , как и C , является бит/с. Каково соотношение этих характеристик? Рассмотрим канал без помех. Тогда выразив L из (3) и подставив в (4), получим:

$$J = \frac{I^{(A)} \cdot C_0}{K(A, a) \cdot \log_2 n}$$

Согласно первой теореме Шеннона при любом способе кодирования

$$K(A, a) \geq \frac{I^{(A)}}{\log_2 n},$$

хотя может быть сколь угодно близкой к этому значению. Следовательно, всегда $J \leq C_0$, т.е. скорость передачи информации по каналу связи не может превысить его пропускной способности. Это утверждение справедливо как при отсутствии в канале помех (шумов) (идеальный канал связи), так и при их наличии (реальный канал связи).

Пример 1. Первичный алфавит состоит из трех знаков с вероятностями $p_1 = 0,2$; $p_2 = 0,7$; $p_3 = 0,1$. Для передачи по каналу без помех используются равномерный двоичный код. Частота тактового генератора 500 Гц. Какова пропускная способность канала и скорость передачи?

Поскольку код двоичный, $n = 2$; из (3) $C_0 = 500$ бит/с. Число знаков первичного алфавита $N = 3$.

$$I(A) = I_1 = -0,2 \cdot \log_2 0,2 - 0,7 \cdot \log_2 0,7 - 0,1 \cdot \log_2 0,1 = 1,16 \text{ бит} \quad K(A, 2) \leq \log_2 N = 2.$$

Следовательно, из (4) получаем:

$$J = \frac{I_1^{(A)}}{\tau \cdot K(A, 2)} = \frac{\nu \cdot I_1^{(A)}}{K(A, 2)} = \frac{500 \cdot 1,16}{2} = 290 \text{ бит/с}$$

Пример 2. Юстасу необходимо передать следующее сообщение: «Дорогой Алекс! От всей души поздравляю с успешной сдачей экзамена по информатике. Желаю дальнейших успехов. Ваш Юстас».

Пеленгатор определяет место передачи, если она длится не менее 3 минут. С какой скоростью (бит/с) Юстас должен передавать радиogramму? Решение: Бит — минимальная единица измерения количества информации. Подсчитаем объем передаваемой информации. В тексте радиogramмы содержится 118 символов, каждый символ несет 1 байт информации. Следовательно, должно быть передано 118 байт информации. 1 байт = 8 бит. 118 байт = 118*8 бит == 944 бита. Время передачи должно быть меньше 180 с, что требует скорости передачи радиogramмы не менее 5 бит/с (944/180=5,2).

Ответ: Юстас должен передавать радиogramму со скоростью не меньше чем 5 бит/с.

6.5 Зашумлённый дискретный канал связи

Рассмотрим влияние шумов на дискретный канал связи. Используем для анализа процесса передачи информации по дискретному каналу с помехами энтропийный подход.

Пусть опыт b состоит в выяснении того, какой сигнал был принят на приемном конце канала; исходами этого опыта являются сигналы b_j , общее число которых равно m . Опыт a состоит в выяснении того, какой сигнал был послан на вход канала; исходами этого опыта являются сигналы, образующие алфавит a_i ; их общее количество равно n . Опыт b несёт в себе информацию относительно опыта a , значение которой равно:

$$I(b, a) = H(a) - H_b(a)$$

Смысл этого выражения в применении к рассматриваемой ситуации в том, что распознанный на приемном конце сигнал содержит информацию о сигнале, который был отправлен, но, в общем случае, информацию не полную. Влияние помех в канале таково, что в процессе передачи часть начальной информации теряется, и исход опыта b не несёт полной информации относительно предшествующего исхода опыта a .

$H(a)$ – энтропия, связанная с определением того, какой сигнал передан, равна:

$$H(a) = - \sum_{i=1}^n p(a_i) \cdot \log_2 p(a_i)$$

$H_b(a)$ – условная энтропия (энтропия опыта a при условии, что ему предшествовал опыт b). В нашем случае:

$$H_{b_i}(a) = - \sum_{i=1}^n p_{b_i}(a_i) \cdot \log_2 p_{b_i}(a_i)$$

$$H_a(b) = - \sum_{j=1}^m p(b_j) \cdot H_{b_j}(a) = - \sum_{j=1}^m p(b_j) \sum_{i=1}^n p_{b_j}(a_i) \log_2 p_{b_j}(a_i)$$

Окончательно для средней информации на один элементарный сигнал имеем:

$$I(b, a) = - \sum_{i=1}^n p(a_i) \cdot \log_2 p(a_i) + \sum_{j=1}^m p(b_j) \sum_{i=1}^n p_{b_j}(a_i) \log_2 p_{b_j}(a_i) \quad (9)$$

Часто бывает удобнее воспользоваться подобным же соотношением, которое получается на основе равенства:

$$I(b, a) = I(a, b) = H(b) - H_a(b)$$

$$I(a, b) = - \sum_{i=1}^n p(b_i) \cdot \log_2 p(b_i) + \sum_{j=1}^m p(a_j) \sum_{i=1}^n p_{a_j}(b_i) \log_2 p_{a_j}(b_i) \quad (10)$$

Проведенные рассуждения приводят к ряду заключений.

1. Для определения информации сигнала, принятого на приемном конце канала, необходимо знание априорных и апостериорных вероятностей. И обратное утверждение: знание априорных и апостериорных вероятностей позволяет установить (вычислить) информацию, связанную с переданным сигналом.

2. Как отмечалось ранее, $I(b, a) = H(a)$ лишь в том случае, когда исход опыта b однозначно определяет исход предшествующего опыта a – это возможно только при отсутствии помех в канале. $I(b, a) = 0$, если a и b независимы, т.е. отсутствует связь между сигналами на входе и выходе канала. Действие помех состоит в том, что на выход канала приходят сигналы, содержащие меньше информации, чем они имели при отсылке.

Как уже указывалось, апостериорные вероятности определяются свойствами канала связи, а априорные – особенностями источника (точнее, кодера). Следовательно, воспользовавшись (9) или (10) и варьируя значения $p(a_i)$ в допустимых по условию задачи пределах, можно найти наибольшее значение $\max\{I(b, a)\}$. Тогда:

$$C = \frac{I_s^{\max}}{\tau} = L \cdot \max\{I(b, a)\} \quad (11)$$

Полученное выражение определяет порядок решения задачи о нахождении пропускной способности конкретного канала:

- исходя из особенностей канала, определить априорные и апостериорные вероятности;
- варьируя $p(a_i)$ и пользуясь (9), найти максимальное информационное содержание элементарного сигнала;
- по (10) вычислить пропускную способность.

Пример 2. Пусть в канале отсутствуют помехи или они не препятствуют передаче. Тогда $m = n$, сигналы на приемном конце совпадают с отправленными. Это означает, что апостериорные вероятности $p_{bj}(a_i) = 1$ при $i = j$ и $p_{bj}(a_i) = 0$ при $i \neq j$. В этом случае $H(b(a)) = 0$ и $\max\{I(b, a)\} = \max\{H(a)\} = \log_2 n$ (это значение достигается, если появление всех входных сигналов равновероятно). Из (6) получаем $C = L \cdot \log_2 n$, что совпадает с (3). Тем самым показано, что определение (3) пропускной способности канала без помех является частным случаем более общего определения (6).

Рассмотрим некоторые примеры каналов передачи информации с помехами.

Заканчивая рассмотрение характеристик реального дискретного канала передачи информации, мы можем сделать следующие заключения:

1. Помехи, существующие в реальном канале связи, приводят к снижению его пропускной способности (по сравнению с аналогичным каналом без помех).
2. Пропускная способность реального канала может быть рассчитана по известным априорным и апостериорным вероятностям. Для их определения требуются статистические исследования передачи информации в канале.

6.6 Непрерывный канал связи

Выше мы обсуждали передачу информации в канале связи посредством дискретных сигналов. Однако при этом непосредственно сам канал связи - проводники, электромагнитное поле, звук, оптоволоконные линии и пр. - свойствами дискретности не обладает. Другими словами, по тем же каналам может передаваться и аналоговая информация - характер передаваемых сигналов определяется передатчиком. Линии связи, основанные на использовании аналоговых сигналов, имеют весьма широкую область практического применения - это радио- и телевизионная связь, телефон и модем, различные телеметрические каналы и пр.

Непрерывным называется канал, который обеспечивает передачу непрерывных (аналоговых) сигналов.

Схема непрерывного канала представлена на **Рис. 14**.



Рис.14. Схема непрерывного канала передачи информации

Непрерывные сигналы, поступающие в канал связи из передатчика описываются некоторой непрерывной функцией времени $Z(t)$. Ограничения на значения этой функции задаются величиной средней мощности

передаваемых сигналов PZ . Другой характеристикой непрерывного канала, как и канала дискретного, является полоса пропускания - интервал частот сигналов, которые могут распространяться в данном канале $n_{\min} - n_{\max}$. Если по своему физическому смыслу Z является напряжением или силой электрического тока, то при неизменном электрическом сопротивлении канала связи $PZ \sim \langle Z^2 \rangle$, т.е. мощность сигнала определяет его амплитуду и средний квадрат значения параметра сигнала.

Сигналы на выходе канала $Z'(t)$, поступающие в приёмник, также являются аналоговыми и формируются они в результате сложения сигналов на входе канала и помех - их можно описать некоторой непрерывной функцией времени $x(t)$; в результате:

$$Z'(t) = Z(t) + x(t).$$

Явный вид функции помех заранее неизвестен. Поэтому для количественного описания прохождения сигналов по непрерывному каналу приходится принимать ту или иную модель помех и модель канала. Наиболее распространенной является модель гауссовского канала: принимается, что помехи, будучи непрерывными случайными величинами, подчиняются нормальному (гауссовскому) статистическому распределению с математическим ожиданием (средним значением) равным нулю ($m_x = 0$):

$$w(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\xi} e^{-\frac{\xi^2}{2\sigma_\xi^2}}$$

Эта функция имеет единственный параметр s_x , квадрат которого называется *дисперсией* $s_x^2 = D_x$ и имеет смысл средней мощности помех в канале с единичным электрическим сопротивлением. Если при этом выполняется условие, что в пределах полосы пропускания средняя мощность помех оказывается одинаковой на всех частотах, а вне этой полосы она равна нулю, то такие помехи называются *белым шумом*.

Не вдаваясь в математическую сторону вывода, укажем, что основываясь на аппарате, описывающем непрерывные случайные величины, можно получить выражение для информации, связанной с отдельным аналоговым сигналом, а на его основе вывести формулу для пропускной способности непрерывного канала. В частности, для принятой модели гауссовского канала с белым шумом получается выражение, которое также называется *формулой Шеннона*:

$$C = \nu_m \log_2 \left(1 + \frac{P_z}{P_\xi} \right) \quad (12)$$

где P_z – средняя мощность сигнала; P_x – средняя мощность помех, ν_m – наибольшая частота в полосе пропускания.

Замечание. Из (12) следует, что при фиксированной ν_m пропускная способность определяется только отношением мощностей сигнала и помех. Ограничение пропускной способности непрерывного канала связано с тем, что любые используемые для связи сигналы имеют конечную мощность. $C = 0$ только при $P_z = 0$. Т.е. непрерывный канал обеспечивает передачу информации даже в том случае, если уровень шумов превышает уровень сигнала – это используется для скрытой (неперехватываемой) передачи. Повысить пропускную способность непрерывного канала можно за счет расширения полосы пропускания.

Приведем характеристики некоторых каналов связи.

Табл. 1. Характеристики некоторых каналов связи

Вид связи	ν_m (Гц)	P_z/P_x	C (бит/с)
Телеграф	120	2^6	640
Телефон	$3 \cdot 10^3$	2^{17}	$5 \cdot 10^4$
Телевидение	$7 \cdot 10^6$	2^{17}	$130 \cdot 10^6$
Компьютерная сеть			до 10^9
Слух человека	$20 \cdot 10^3$		$5 \cdot 10^4$
Глаза человека			$5 \cdot 10^6$

Из сопоставления данных видно, что пропускная способность телефонного канала связи совпадает с пропускной способностью органов слуха человека. Однако она существенно выше скорости обработки информации человеком, которая составляет не более 50 бит/с. Другими словами, человеческие каналы связи допускают значительную избыточность информации, поступающей в мозг.

Мы коснулись лишь одной модели непрерывного канала. В реальных каналах действие помех на входные сигналы может быть гораздо сложнее и, соответственно, гораздо хуже поддаваться математическому описанию.

6.7 Пропускная способность непрерывных каналов связи

Непрерывные сигналы, имеющие спектр частот F могут быть переданы в виде дискретных отсчетов через интервалы времени $\Delta t = 1/2F$ (по теореме Котельникова). Пусть в канале связи на передаваемое сообщение $x(t)$ накладывается помеха $n(t)$. Будем считать, что длительность сообщения составляет T .

Количество информации, содержащееся в принятых сообщениях Y относительно переданных X , определяется равенством $I(Y, X) = H(Y) - H(Y/X)$. Значение $H(Y/X)$ обусловлено только шумами и может быть заменено $H(N)$. Тогда $I(Y, X) = H(Y) - H(N)$. При этом $H(Y) = H(y_1, y_2, \dots, y_2 FT)$, $H(N) = H(n_1, n_2, \dots, n_2 FT)$

Скорость передачи информации будет равняться

$$R = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I(X, Y)}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H(Y) - H(N)}{T}$$

Максимальная скорость передачи информации называется пропускной способностью канала связи

$$C = R_{\max} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I(Y, X)_{\max}}{T} \quad (13)$$

Определим пропускную способность канала связи, когда помехи воздействуют на передаваемый сигнал по нормальному закону. Такие помехи обладают наибольшей эффективностью.

Энтропия шума для одного отсчетного значения равна $H(n) = \log_n \delta_n \sqrt{2\pi e} - \log \Delta x$, где δ_n^2 – дисперсия шума. Так как элементы независимы, то энтропия объединения для помехи равна сумме энтропии

$$H(N) = 2FT H(n); H(N) = 2FT [\log \delta_n \sqrt{2\pi e} - \log \Delta x]$$

Если желательно передать наибольшее количество информации, то надо, чтобы энтропия объединения принятых сообщений была максимальной. Для этого необходимо, чтобы отсчеты принимаемого сигнала были статистически независимы и чтобы отсчетные значения были распределены по нормальному закону. В этом случае энтропия принимаемых сигналов будет равна

$$H(Y)_{\max} = 2FT [\log \delta_y \sqrt{2\pi e} - \log \Delta y]$$

Тогда

$$I(X, Y)_{\max} = H(Y)_{\max} - H(N) = 2FT [\log \delta_y \sqrt{2\pi e} - \log \Delta y - \log \delta_n \sqrt{2\pi e} + \log \Delta x] = 2FT \left[\log \frac{\delta_y}{\delta_n} + \log \frac{\Delta x}{\Delta y} \right]$$

Если точность квантования Δx и Δy равны, то $I(X, Y)_{\max} = 2FT \log \frac{\delta_y}{\delta_n}$. Дисперсия принятых сообщений

определяется как сумма $\delta_y^2 = \delta_x^2 + \delta_n^2$ Тогда

$$I(X, Y)_{\max} = 2FT \log \sqrt{\frac{\delta_k^2 + \delta_n^2}{\delta_n^2}} = FT \log \frac{\delta_k^2 + \delta_n^2}{\delta_n^2}$$

Отношение дисперсии заменим отношением мощностей $\frac{\delta_k^2}{\delta_n^2} = \frac{P}{N}$

$$\text{Тогда } I(X, Y)_{\max} = FT \log \left(1 + \frac{P}{N} \right) \quad (14)$$

где P – мощность сигнала, а N – мощность помехи.

Таким образом, для увеличения I_{\max} необходимо увеличить F , T и P/N . Величину $FT \log(P/N)$ называют «объемом сигнала». Используя различные F , T и P/N , но, сохраняя объем можно передать одно и то же количество информации.

Подставим (14) в (13) и определим пропускную способность непрерывного канала связи

$$C = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I(Y, X)_{\max}}{T} = F \log \left(1 + \frac{P}{N} \right) \text{ или } C = F \log \left(1 + \frac{P}{N} \right)$$

Эта формула указывает, что наибольшая скорость передачи информации прямо пропорциональна полосе частот и логарифму суммы $(1+P/N)$.

Принципы оптимального кодирования

Мы уже видели, что экономность кода зависит от того, насколько разумно составлена последовательность вопросов.

Исходя из принципа максимума информации, следует задавать вопросы таким образом, чтобы энтропия текущей ситуации была наибольшей, а это означает, что в любой момент ответы "0" и "1" должны быть приблизительно равновероятными. Эта идея приводит к следующему алгоритму оптимального кодирования.

1. Все сообщения упорядочиваются по убыванию их частот.
2. Совокупность сообщений последовательно делится на две равновероятные (в сумме) части, причем первой из них присваивается символ 0, а второй – 1. Если какая-либо часть содержит более одного сообщения, то она также делится на части по тому же принципу.

6.8 Согласование скорости выдачи информации, выдаваемой источником, с пропускной способностью канала связи

Рассмотрим случай, когда непрерывный сигнал выдается одиночным датчиком. При этом, ширина спектра датчика равна F_d . По теореме Котельникова, найдем интервал дискретизации $\Delta t = 1/(2F_d)$. Количество отсчетов в секунду будет составлять $n_0 = 1/\Delta t = 2F_d$. Если энтропия сообщения, то есть количество информации, которое содержится в одном отсчете, равна $H(X)$, а количество отсчетов в секунду равно n_0 , то количество информации, которое поступает от датчика в секунду, равно

$$R_d = n_0 H(x) = 2F_d H(X).$$

Пропускная способность канала связи должна быть не меньше скорости выдачи информации, выдаваемой датчиком:

$$R_d \leq C, \quad 2F_d H(X) \leq F \log \left(1 + \frac{P}{N} \right).$$

Откуда

$$F \geq \frac{2F_d H(X)}{\log \left(1 + \frac{P}{N} \right)} = \frac{2F_d \log m}{\log \left(1 + \frac{P}{N} \right)} \quad (15)$$

Полоса пропускания канала связи должна быть тем шире, чем шире спектр передаваемой информации (то есть, чем быстрее изменяется регистрируемая величина), чем больше количество передаваемых состояний, (то есть, чем точнее производится отсчёт величины, даваемой датчиком) и чем меньше допустимое в канале связи отношение сигнал/шум.

Канал связи является дорогим сооружением, поэтому желательно, что бы по нему передавалась информация одновременно от многих источников информации. На **Рис. 15** представлена схема передачи информации по каналу от многих датчиков. Преобразователь служит для раздельной передачи информации, выдаваемой различными датчиками, и может быть построен с использованием метода селекции по времени или по частоте.

Учитывая, что сообщения, выдаваемые различными датчиками статистически независимые, энтропия комплексного датчика будет равна $H(X) = H(X_1) + H(X_2) + \dots + H(X_n)$ Энтропия сообщения i -го датчика определяется суммой

$$H(X_i) = - \sum_{k=1}^{m_i} p_i(x_k) \log p_i(x_k),$$

где m_i – количество состояний i – го датчика.

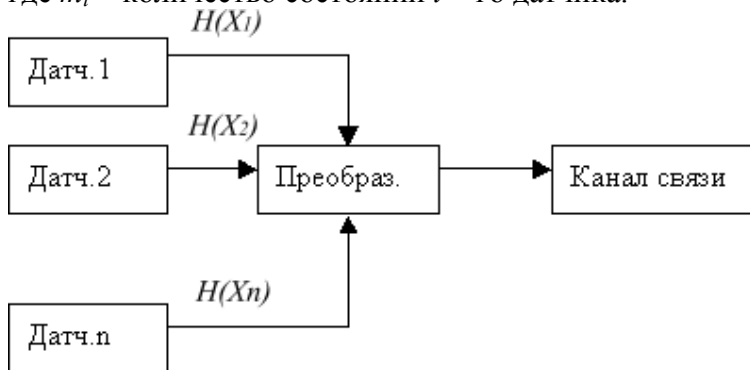


Рис. 15. Комплексный датчик

Будем исходить из условий равной вероятности состояний датчиков. В этом случае энтропия будет максимальной: $H(X_i) = \log m_i$. Тогда

$$H(X) = \log m_1 + \log m_2 + \dots + \log m_n,$$

где m_1, m_2, \dots, m_n – количество состояний 1, 2, ..., n -го датчиков.

Количество состояний каждого из датчиков определяет точность передаваемой информации: чем больше регистрируется состояний, тем выше точность. Будем понимать под классом точности первичных датчиков величины:

$$\varepsilon_1 = \frac{100}{m_1}, \dots, \varepsilon_2 = \frac{100}{m_2}, \dots, \varepsilon_n = \frac{100}{m_n}.$$

Так, если $m=100$, то имеем первый класс точности, при $m=20$ – пятый класс точности.

$$\text{Подставим } m_1, m_2, \dots, m_n \text{ в } H(X) \quad H(X) = \log \left(\frac{100}{\varepsilon_1} \cdot \frac{100}{\varepsilon_2} \dots \frac{100}{\varepsilon_n} \right) = \log \frac{100^n}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n}$$

Заменим классы точности отдельных датчиков эквивалентным классом точности комплексного датчика

$$\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n} \quad H(X) = \log \frac{100^n}{\varepsilon^n} = n \cdot \log \frac{100}{\varepsilon}$$

Далее определяется граничная частота для датчика, работающего с наибольшей частотой $F_{d \max}$. Количество опросов комплексного датчика будет

$$n_0 = \frac{1}{\Delta t_{\min}} = 2F_{d \max}. \quad \text{Если количество опросов в секунду } n_0, \text{ то общее количество информации}$$

$$R_d = n_0 H(X) = n_0 \cdot n \cdot \log \frac{100}{\varepsilon}.$$

Согласование комплексного датчика с каналом связи может быть достигнуто, если количество информации, даваемое таким датчиком в единицу времени, не будет превосходить пропускной способности канала связи $R_d \leq C$. Отсюда определяется наименьшая ширина полосы канала связи:

$$F \geq n_0 \cdot n \frac{\log \frac{100}{\varepsilon}}{\log \left(1 + \frac{P}{N} \right)} = F_{\min} \quad (16)$$

Для передачи информации обычно применяются бинарные сигналы. Такие сигналы передаются по каналу с различной модуляцией: АМ, ФМ, ЧМ.

Максимальная скорость передачи может быть определена по формуле

$$R_{\max} = C = F[1 + p \log p + (1 - p)],$$

где F – спектр сигнала, p – вероятность искажения сигнала.

Если длительность элементарного сигнала t , то $F=1/t$. Вероятность ложных переходов однозначно определяется через отношение P/N , поэтому можно записать

$$R = F \cdot \Psi \left(\frac{P}{N} \right), \quad (17)$$

где вид функции $\Psi(P/N)$ зависит от вида модуляции.

Отцом теории информации принято считать Клода Шеннона, который, начав с углубленного изучения математической статистики, предоставил инженерам полное определение ёмкости коммуникационного канала. Его теория не рассматривает содержание передаваемого сообщения и не обращает особого внимания на процессы передачи информации, но старается оптимизировать процессы сжатия сообщения с небольшими потерями, что требует применения критерия точности. Задача перекодировки информации - как можно больше уменьшить первоначальный объём предоставленных данных. Цель таких усилий – оптимизация режимов эксплуатации устройств, предназначенных для хранения и передачи информации. Процесс сжатия бывает двух видов – с потерей данных и без. Первый вид задействован в компьютерах, которые обязаны обрабатывать разные данные одновременно. Второй вид сжатия применим к сохранению таких видов информации как фото, аудио и видео, поскольку эти виды данных способны сохранять свою информативную функцию, даже при значительных потерях. Теория информации создала задел, на базе которого была организована эффективная практика связи.

В данной лекции сначала рассмотрим общую теорию кодирования информации, затем перейдём к практическому применению кодирования в технике передачи сообщений.

Информация, в том числе графическая и звуковая, может быть представлена в аналоговой или дискретной форме. При аналоговом представлении физическая величина принимает бесконечное множество значений, и её значения изменяются непрерывно. При дискретном представлении физическая величина принимает конечное множество значений, и её величина изменяется скачкообразно. Графическая и звуковая информация преобразуется из аналоговой формы в дискретную путём дискретизации, т. е. разбиения непрерывного (аналогового) сигнала на отдельные элементы. В процессе дискретизации производится кодирование - присвоение каждому элементу конкретного значения в форме кода. Дискретизация - преобразование непрерывного потока информации (например, изображений и звука) в набор дискретных значений, каждому из которых присваивается значение его кода.

В канале связи сообщение, составленное из символов одного алфавита, может преобразовываться в сообщение из символов другого алфавита. Правило, описывающее однозначное соответствие букв алфавитов при таком преобразовании, называют кодом. Перекодировка - процедура преобразования сообщения. Подобное преобразование сообщения может осуществляться в момент поступления сообщения от источника в канал связи (кодирование) и в момент приёма сообщения получателем (декодирование). Устройства, обеспечивающие кодирование и декодирование, называют кодировщиком и декодировщиком.

1. ИСТОРИЯ КОДИРОВАНИЯ

Необходимость кодирования информации возникла задолго до появления компьютеров. Речь, азбука и цифры – есть не что иное, как система моделирования мыслей, речевых звуков и числовой информации. В технике потребность кодирования возникла сразу после создания телеграфа, но особенно важной она стала с изобретением компьютеров.

Область действия теории кодирования распространяется на передачу данных по реальным (или зашумленным) каналам, а предметом является обеспечение корректности переданной информации. Иными словами, она изучает, как лучше упаковать данные, чтобы после передачи сигнала из данных можно было надежно и просто выделить полезную информацию. Иногда теорию кодирования путают с шифрованием, но это неверно: криптография решает обратную задачу, её цель - затруднить получение информации из данных.

С необходимостью кодирования данных впервые столкнулись более полутора столетия назад, вскоре после изобретения телеграфа. Каналы были дороги и ненадежны, что сделало актуальной задачу минимизации стоимости и повышения надёжности передачи телеграмм. Проблема ещё более обострилась в связи с прокладкой трансатлантических кабелей. С 1845 вошли в употребление специальные кодовые книги; с их помощью телеграфисты вручную выполняли «компрессию» сообщений, заменяя распространенные последовательности слов более короткими кодами. Тогда же для проверки правильности передачи стали использовать контроль чётности, метод, который применялся для проверки правильности ввода перфокарт ещё и в компьютерах первых поколений. Для этого во вводимую колоду последней вкладывали специально подготовленную карту с контрольной суммой. Если устройство ввода было не слишком надежным (или колода - слишком большой), то могла возникнуть ошибка. Чтобы исправить её, процедуру ввода повторяли до тех пор, пока подсчитанная контрольная сумма не совпадала с суммой, сохраненной на карте. Эта схема неудобна, и к тому же пропускает двойные ошибки. С развитием каналов связи потребовался более эффективный механизм контроля.

Первым теоретическое решение проблемы передачи данных по зашумленным каналам предложил Клод Шеннон, основоположник статистической теории информации. Работая в *Bell Labs*, Шеннон написал

работу «Математическая теория передачи сообщений» (1948), где показал, что если пропускная способность канала выше энтропии источника сообщений, то сообщение можно закодировать так, что оно будет передано без излишних задержек. В одной из теорем Шеннон доказал, что при наличии канала с достаточной пропускной способностью сообщение может быть передано с некоторыми временными задержками. Кроме того, он показал возможность достоверной передачи при наличии шума в канале. Формула $C = W \log ((P+N)/N)$, высечена на скромном памятнике Шеннону, установленном в его родном городе в штате Мичиган.

Труды Шеннона дали пищу для множества дальнейших исследований в области теории информации, но практического инженерного приложения они не имели. Переход от теории к практике стал возможен благодаря усилиям Ричарда Хэмминга, коллеги Шеннона по *Bell Labs*, получившего известность за открытие класса кодов «коды Хэмминга». Существует легенда, что к изобретению своих кодов Хэмминг подтолкнуло неудобство в работе с перфокартами на релейной счетной машине *Bell Model V* в середине 40-х годов. Ему давали время для работы на машине в выходные дни, когда не было операторов, и ему самому приходилось возиться с вводом. Хэмминг предложил коды, способные корректировать ошибки в каналах связи, в том числе и в магистральных передачах данных в компьютерах, прежде всего между процессором и памятью. Коды Хэмминга показали, как можно практически реализовать возможности теоремы Шеннона. Хэмминг опубликовал свою статью в 1950, хотя во внутренних отчетах его теория кодирования датируется 1947. Поэтому некоторые считают, что отцом теории кодирования следует считать Хэмминга, а не Шеннона.

Ричард Хэмминг (1915 - 1998) получил степень бакалавра в Чикагском университете в 1937. В 1939 он получил степень магистра в Университете Небраски, а степень доктора по математике – в Университете Иллинойса. В 1945 Хэмминг начал работать в рамках Манхэттенского проекта. В 1946 поступил на работу в Bell Telephone Laboratories, где работал с Шенноном. В 1976 получил кафедру в военно-морской аспирантуре в Монтерей в Калифорнии. Труд, сделавший его знаменитым, фундаментальное исследование кодов обнаружения и исправления ошибок, Хэмминг опубликовал в 1950. В 1956 он принимал участие в работе над IBM 650. Его работы заложили основу языка программирования, который позднее эволюционировал в языки программирования высокого уровня. В знак признания заслуг Хэмминга в области информатики институт IEEE учредил медаль за выдающиеся заслуги в развитии информатики и теории систем, которую назвал его именем.

Хэмминг первым предложил «коды с исправлением ошибок» (*Error-Correcting Code, ECC*). Современные модификации этих кодов используются во всех системах хранения данных и для обмена между процессором и оперативной памятью. Один из их вариантов, коды Рида-Соломона применяются в компакт-дисках, позволяя воспроизводить записи без скрипов и шумов, вызванных царапинами и пылинками. Существует множество версий кодов, построенных «по мотивам» Хэмминга, они различаются алгоритмами кодирования и количеством проверочных битов. Особое значение подобные коды приобрели в связи с развитием дальней космической связи с межпланетными станциями.

Среди новейших кодов *ECC* следует назвать коды *LDPC (Low-Density Parity-check Code)*. Вообще-то они известны лет тридцать, но особый интерес к ним обнаружился именно в последние годы, когда стало развиваться телевидение высокой чёткости. Коды *LDPC* не обладают 100-процентной достоверностью, но вероятность ошибки может быть доведена до желаемой, и при этом с максимальной полнотой используется пропускная способность канала. К ним близки «турбокоды» (*Turbo Code*), они эффективны при работе с объектами, находящимися в условиях далекого космоса и ограниченной пропускной способности канала.

В историю теории кодирования прочно вписано имя В. А. Котельникова. В 1933 в «Материалах по радиосвязи к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи» он опубликовал работу «О пропускной способности «эфира» и «провода»». Имя Котельникова входит в название одной из важнейших теорем теории кодирования, определяющей условия, при которых переданный сигнал может быть восстановлен без потери информации. Эту теорему называют по-разному, в том числе «теоремой *WKS*» (аббревиатура *WKS* взята от *Whittaker, Kotelnikov, Shannon*). В некоторых источниках используют и *Nyquist-Shannon sampling theorem*, и *Whittaker-Shannon sampling theorem*, а в отечественных вузовских учебниках чаще всего встречается просто «теорема Котельникова». На самом же деле теорема имеет более долгую историю. Ее первую часть в 1897 доказал французский математик Э. Борель. Свой вклад в 1915 внес Э. Уиттекер. В 1920 японец К. Огура опубликовал поправки к исследованиям Уиттекера, а в 1928 американец Гарри Найквист уточнил принципы оцифровки и восстановления аналогового сигнала.

2. ТЕОРИЯ КОДИРОВАНИЯ

Теория кодирования информации является одним из разделов теоретической информатики. К основным задачам, решаемым в данном разделе, необходимо отнести следующие:

разработка принципов наиболее экономичного кодирования информации;

согласование параметров передаваемой информации с особенностями канала связи;

разработка приемов, обеспечивающих надежность передачи информации по каналам связи, т.е. отсутствие потерь информации.

Две последние задачи связаны с процессами передачи информации. Первая же задача – кодирование информации – касается не только передачи, но и обработки, и хранения информации, т.е. охватывает широкий круг проблем; частным их решением будет представление информации в компьютере. С обсуждения этих вопросов и начнем освоение теории кодирования.

2.1 Определение понятий

Кодирование информации - процесс преобразования сигнала из формы, удобной для непосредственного использования информации, в форму, удобную для передачи, хранения или автоматической переработки (Цифровое кодирование, аналоговое кодирование, таблично-символьное кодирование, числовое кодирование). Процесс преобразования сообщения в комбинацию символов в соответствии с кодом называется *кодированием*, процесс восстановления сообщения из комбинации символов называется *декодированием*

Кодирование информации. Основные понятия.

Источник представляет сообщение в алфавите, который называется **первичным**, далее это сообщение попадает в устройство, преобразующее и представляющее его во **вторичном алфавите**.

- **Код** – правило, описывающее соответствие знаков (или их сочетаний) первичного алфавита знаком (их сочетаниями) вторичного алфавита.
- **Кодирование** – перевод информации, представленной сообщением в первичном алфавите, в последовательность кодов.
- **Декодирование** – операция обратная кодированию.
- **Кодер** – устройство, обеспечивающее выполнение операции кодирования.
- **Декодер** – устройство, производящее декодирование.

Информацию необходимо представлять в какой-либо форме, т.е. кодировать.

Для представления дискретной информации используется некоторый алфавит. Однако однозначное соответствие между информацией и алфавитом отсутствует. Другими словами, одна и та же информация может быть представлена посредством различных алфавитов. В связи с такой возможностью возникает проблема перехода от одного алфавита к другому, причём, такое преобразование не должно приводить к потере информации.

Алфавит, с помощью которого представляется информация до преобразования называется **первичным**; алфавит конечного представления – **вторичным**.

Код – (1) правило, описывающее соответствие знаков или их сочетаний одного алфавита знакам или их сочетаниям другого алфавита; - (2) знаки вторичного алфавита, используемые для представления знаков или их сочетаний первичного алфавита.

Код – совокупность знаков (символов) и система определённых правил, при помощи которой информация может быть представлена (закодирована) в виде набора из таких символов для передачи, обработки и хранения. Конечная последовательность кодовых знаков называется словом. Наиболее часто для кодирования информации используют буквы, цифры, числа, знаки и их комбинации.

Код – набор символов, которому приписан некоторый смысл. Код является знаковой системой, которая содержит конечное число символов: буквы алфавита, цифры, знаки препинания, знаки математических операций и т.д.

Кодирование – операция отождествления символов или групп символов одного кода с символами или группами

символов другого кода.

Кодирование – перевод информации, представленной посредством первичного алфавита, в последовательность кодов.

Кодирование информации – процесс формирования определенного представления информации. В более узком смысле под термином «кодирование» понимают переход от одной формы представления информации к другой, более удобной для хранения, передачи или обработки.

Кодирование информации – процесс преобразования сигналов или знаков одной знаковой системы в знаки другой знаковой системы, для использования, хранения, передачи или обработки.

Декодирование - операция, обратная кодированию, т.е. восстановление информации из закодированного вида (восстановление в первичном алфавите по полученной последовательности кодов).

Шифрование – разновидность кодирования.

Шифр – код, значение и правила использования которого известно ограниченному кругу лиц.

Принципы оптимального кодирования

Мы уже видели, что экономность кода зависит от того, насколько разумно составлена последовательность вопросов.

Исходя из принципа максимума информации, следует задавать вопросы таким образом, чтобы энтропия текущей ситуации была наибольшей, а это означает, что в любой момент ответы "0" и "1" должны быть приблизительно равновероятными. Эта идея приводит к следующему алгоритму оптимального кодирования.

1. Все сообщения упорядочиваются по убыванию их частот.
2. Совокупность сообщений последовательно делится на две равновероятные (в сумме) части, причем первой из них присваивается символ 0, а второй – 1. Если какая-либо часть содержит более одного сообщения, то она также делится на части по тому же принципу.

Операции кодирования и декодирования называются обратимыми, если их последовательное применение обеспечивает возврат к исходной информации без каких-либо её потерь.

Примером обратимого кодирования является представление знаков в телеграфном коде и их восстановление после передачи. Примером кодирования необратимого может служить перевод с одного естественного языка на другой – обратный перевод, вообще говоря, не восстанавливает исходного текста. Безусловно, для практических задач, связанных со знаковым представлением информации, возможность восстановления информации по её коду является необходимым условием применения кода, поэтому в дальнейшем изложении ограничим себя рассмотрением только обратимого кодирования.

Таким образом, кодирование предшествует передаче и хранению информации. При этом хранение связано с фиксацией некоторого состояния носителя информации, а передача – с изменением состояния с течением времени (т.е. процессом). Эти состояния или сигналы будем называть **элементарными сигналами** – именно их совокупность и составляет вторичный алфавит.

Любой код должен обеспечивать однозначное чтение сообщения (надежность), так и, желательно, быть экономным (использовать в среднем поменьше символов на сообщение).

Возможность восстановить текст означает, что в языке имеется определенная избыточность, за счет которой мы восстанавливаем отсутствующие элементы по оставшимся. Ясно, что избыточность находится в вероятностях букв и их комбинациях, их знание позволяет подобрать наиболее вероятный ответ.

Компьютер может обрабатывать только информацию, представленную в числовой форме. Вся другая информация (звуки, изображения, показания приборов и т. д.) для обработки на компьютере должна быть преобразована в числовую форму. С помощью компьютерных программ можно преобразовывать полученную информацию, в том числе - текстовую. При вводе в компьютер каждая буква кодируется определенным числом, а при выводе на внешние устройства (экран или печать) для восприятия человеком по этим числам строятся изображения букв. Соответствие между набором букв и числами называется кодировкой символов. Как правило, все числа в компьютере представляются с помощью нулей и единиц, т.е. словами, компьютеры работают в двоичной системе счисления, поскольку при этом устройства для их обработки получают значительно более простыми.

Математическая постановка задачи кодирования

- A - первичный алфавит. Состоит из N знаков со средней информацией на знак I^A .
- B - вторичный из M знаков со средней информацией на знак I^B .
- Сообщение в первичном алфавите содержит n знаков, а закодированное – m знаков.
- $I_s(A)$ - информация в исходном сообщении, $I_f(B)$ - информация в закодированном сообщении.

Кодер - программист, специализирующийся на кодировании - написании исходного кода по заданным спецификациям.

Кодер - одна из двух компонент кодека (пары кодер – декодер).

Декодер - некоторое звено, которое преобразует информацию из внешнего вида в вид, применяемый внутри узла. В программном обеспечении: модуль программы или самостоятельное приложение, которое преобразует файл или информационный поток из внешнего вида в вид, который поддерживает другое программное обеспечение.

В процессе преобразования информации из одной формы представления (знаковой системы) в другую осуществляется кодирование. Средством кодирования служит таблица соответствия, которая устанавливает взаимно однозначное соответствие между знаками или группами знаков двух различных

знаковых систем. В процессе обмена информацией часто приходится производить операции кодирования и декодирования информации. При вводе знака алфавита в компьютер путем нажатия соответствующей клавиши на клавиатуре выполняется его кодирование, т. е. преобразование в компьютерный код. При выводе знака на экран монитора или принтер происходит обратный процесс - декодирование, когда из компьютерного кода знак преобразуется в графическое изображение.

- $I_s(A) \leq I_f(B)$ - условие обратимости кодирования, т.е. не исчезновения информации.
 $n \cdot I(A) \leq m \cdot I(B)$ (заменили произведением числа знаков на среднее информационное содержание знака).
- m/n - характеризует среднее число знаков вторичного алфавита, который используется для кодирования одного знака первичного. Обозначим его $K(A, B)$
- $K(A, B) \geq I(A) / I(B)$ Обычно $K(A, B) > 1$
- $K^{\min}(A, B) = I(A) / I(B)$ - минимальная длина кода

Кодирование информации распадается на этапы:

Определение объёма информации, подлежащей кодированию.

Классификация и систематизация информации.

Выбор системы кодирования и разработка кодовых обозначений.

Непосредственное кодирование.

2.2 Информация и алфавит

Теорема Шеннона

При отсутствии помех. Всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором среднее число знаков кода, приходящихся на один знак первичного алфавита, будет сколь угодно близко к отношению средних информаций на знак первичного и вторичного алфавитов.

Шенноном была рассмотрена ситуация, когда при кодировании сообщения в первичном алфавите учитывается различная вероятность появления знаков, а также равная вероятность появления знаков вторичного алфавита. Тогда:
 $K_{\min}(A, B) = I(A) / \log_2 M = I(A)$, здесь $I(A)$ - средняя

(основных звуков разного звучания), по которым мы и отличает знаки речи. В письменности это достигается различным начертанием букв и дальнейшим анализом написанного. Можно реализовать некоторую процедуру, посредством которой выделить из сообщения тот или иной знак. Но появление конкретного знака (буквы) в конкретном месте сообщения – событие случайное. Следовательно, узнавание (отождествление) знака требует получения некоторой порции информации. Можно связать эту информацию с самим знаком и считать, что знак несет в себе некоторое количество информации.

Алфавит [*alphabetos*, от названий первых двух букв греческого α - альфа и бета; аналогично: азбука — от аз и буки], совокупность графических знаков — букв (например, латинский, русский A .) или слоговых знаков (например, индийский A . деванагари), расположенных в традиционно установленном порядке.

Знак - соглашение (явное или неявное) о приписывании чему-либо (означающему) какого-либо определённого смысла (означаемого). Знак — это материально выраженная замена предметов, явлений, понятий в процессе обмена информацией в коллективе. Знаком также называют конкретный случай использования такого соглашения для передачи информации. Знак может быть составным, то есть состоять из нескольких других знаков. Буквы и слова человеческого языка являются знаками. Цифры и числа являются знаками. Наука о знаковых системах называется семиотикой.

Символы (в компьютере) - цифры, буквы, иероглифы и т.п.

Начнём с самого грубого приближения (будем называть его нулевым) – предположим, что появление всех знаков (букв) алфавита в сообщении равновероятно. Тогда для английского алфавита $n_e=27$ (с учетом пробела как самостоятельного знака); для русского алфавита $n_r=34$. Из формулы Хартли

$$I = \log_2 n \quad (1.15)$$

находим:

$$I_0^{(e)} = \log_2 27 = 4,755 \text{ бит.}$$

$$I_0^{(r)} = \log_2 34 = 5,087 \text{ бит.}$$

Получается, что в нулевом приближении со знаком русского алфавита в среднем связано больше информации, чем со знаком английского. Например, в русской букве «а» информации больше, чем в «a» английской! Это, безусловно, не означает, что английский язык – язык Шекспира и Диккенса – беднее, чем язык Пушкина и Достоевского. Лингвистическое богатство языка определяется количеством слов и их сочетаний, а это никак не связано с числом букв в алфавите. С точки зрения техники это означает, что сообщения из равного количества символов будет иметь разную длину (и соответственно, время передачи) и большими они окажутся у сообщений на русском языке.

В качестве следующего (первого) приближения, уточняющего исходное, попробуем учесть то обстоятельство, что относительная частота, т.е. вероятность появления различных букв в тексте (или сообщении) различна. Рассмотрим таблицу средних частот букв для русского алфавита, в который включен также знак «пробел» для разделения слов; с учетом неразличимости букв «е» и «ё», а также «ь» и «ъ» (так принято в телеграфном кодировании), получим алфавит из 32 знаков со следующими вероятностями их появления в русских текстах:

Табл. 1. Частота появления букв							
Буква	Частота	Буква	Частота	Буква	Частота	Буква	Частота
пробел	0,175	о	0,090	е, ё	0,072	а	0,062
и	0,062	т	0,053	н	0,053	с	0,045
р	0,040	в	0,038	л	0,035	к	0,028
м	0,026	д	0,025	п	0,023	у	0,021

я	0,018	ы	0,016	з	0,016	ъ, ь	0,014
б	0,014	г	0,013	ч	0,012	й	0,010
х	0,009	ж	0,007	ю	0,006	ш	0,006
ц	0,004	щ	0,003	э	0,003	ф	0,002

Для оценки информации, связанной с выбором одного знака алфавита с учётом неравной вероятности их появления в сообщении (текстах) можно воспользоваться формулой

$$I = - \sum_{i=1}^n p(A_i) \cdot \log_2 p(A_i) \quad (1.14)$$

(Информация опыта равна среднему значению количества информации, содержащейся в каком-либо одном его исходе).

Из неё, в частности, следует, что если p_i – вероятность (относительная частота) знака номер i данного алфавита из N знаков, то среднее количество информации, приходящейся на один знак, равно:

$$I = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \quad (1.17)$$

- формула К. Шеннона.

Применение формулы (1.17) к алфавиту русского языка дает значение средней информации на знак $I_l^{(r)} = 4,36$ бит, а для английского языка $I_l^{(e)} = 4,04$ бит, для французского $I_l^{(f)} = 3,96$ бит, для немецкого $I_l^{(d)} = 4,10$ бит, для испанского $I_l^{(s)} = 3,98$ бит. Как мы видим, и для русского, и для английского языков учёт вероятностей появления букв в сообщениях приводит к уменьшению среднего информационного содержания буквы, что, кстати, подтверждает справедливость формулы (1.7). Несовпадение значений средней информации для английского,

французского и немецкого языков, основанных на одном алфавите, связано с тем, что частоты появления одинаковых букв в них различаются.

В рассматриваемом приближении по умолчанию предполагается, что вероятность появления любого знака в любом месте сообщения остается одинаковой и не зависит от того, какие знаки или их сочетания предшествуют данному. Такие сообщения называются **шенноновскими** (или сообщениями без памяти).

Сообщения, в которых вероятность появления каждого отдельного знака не меняется со временем, называются **шенноновскими**, а порождающий их отправитель – **шенноновским источником**.

Если сообщение является шенноновским, то набор знаков (алфавит) и вероятности их появления в сообщении могут считаться известными заранее. В этом случае, с одной стороны, можно предложить оптимальные способы кодирования, уменьшающие суммарную длину сообщения при передаче по каналу связи. С другой стороны, интерпретация сообщения, представляющего собой последовательность сигналов,

сводится к задаче распознавания знака, т.е. выявлению, какой именно знак находится в данном месте сообщения. А такая задача, как мы уже убедились в предыдущем шаге, может быть решена серией парных выборов. При этом количество информации, содержащееся в знаке, служит мерой затрат по его выявлению.

Последующие (второе и далее) приближения при оценке значения информации, приходящейся на знак алфавита, строятся путем учета корреляций, т.е. связей между буквами в словах. Дело в том, что в словах буквы появляются не в любых сочетаниях; это понижает неопределенность угадывания следующей буквы после нескольких, например, в русском языке нет слов, в которых встречается сочетание щц или фъ. И напротив, после некоторых сочетаний можно с

большой определенностью, чем чистый случай, судить о появлении следующей буквы, например, после распространенного сочетания пр- всегда следует гласная буква, а их в русском языке 10 и, следовательно, вероятность угадывания следующей буквы 1/10, а не 1/33. В связи с этим примем следующее определение:

Теорема Шеннона (переформулировка)

При отсутствии помех средняя длина двоичного кода может быть сколь угодно близкой к средней информации, приходящейся на знак первичного алфавита.

Особенности вторичного алфавита при кодировании

1. Элементарные коды 0 и 1 могут иметь одинаковые длительности ($t_0 = t_1$) или разные (\neq).
2. Длина кода может быть одинаковой для всех знаков первичного алфавита (**код равномерный**) или различной (**неравномерный код**)
3. Коды могут строиться для отдельного знака первичного алфавита (**алфавитное кодирование**) или

Сообщения (а также источники, их порождающие), в которых существуют статистические связи (корреляции) между знаками или их сочетаниями, называются сообщениями (источниками) с памятью или марковскими сообщениями (источниками).

Учёт в английских словах двухбуквенных сочетаний понижает среднюю информацию на знак до значения $I_2^{(e)}=3,32$ бит, учёт трехбуквенных – до $I_3^{(e)}=3,10$ бит. Шеннон сумел приблизительно оценить $I_5^{(e)} \approx 2,1$ бит, $I_8^{(e)} \approx 1,9$ бит. Аналогичные исследования для русского языка дают: $I_2^{(r)} = 3,52$ бит; $I_3^{(r)} = 3,01$ бит.

Последовательность $I_0, I_1, I_2...$ является убывающей в любом языке. Экстраполируя её на учёт бесконечного числа корреляций, можно оценить предельную информацию на знак в данном языке I_∞ , которая будет отражать минимальную неопределенность, связанную с выбором знака алфавита без учета семантических особенностей языка, в то время как I_0 является другим предельным случаем, поскольку характеризует наибольшую информацию, которая может содержаться в знаке данного алфавита. Шеннон ввел величину, которую назвал *относительной избыточностью языка*:

$$R = 1 - \frac{I_\infty}{I_0} \quad (1.18)$$

Избыточность является мерой бесполезно совершаемых альтернативных выборов при чтении текста. Эта величина показывает, какую долю лишней информации содержат тексты данного языка; лишней в том отношении, что она определяется структурой самого языка и, следовательно, может быть восстановлена без явного указания в буквенном виде.

Передача информации

Для рассмотрения вопросов передачи информации удобно представлять себе, что **получатель** задает **отправителю** вопросы, допускающие только ответы "да" или "нет", так что отправителю остается только выбирать ответы в соответствии со смыслом передаваемого сообщения.

Если они заранее договорятся о стандартной последовательности вопросов, необходимость задавать вопросы отпадет. Эта стандартная последовательность вопросов и есть **код**. Можно говорить о наилучшем (или наиболее экономном) коде.

Например, чтобы угадать задуманное число от 1 до 100 глупо спрашивать про все числа по очереди: "Это не 0?" "А может 1?". Гораздо разумнее разбить числа на группы и последовательно сужать поиск, например: "Это число больше 50?" – "Нет" "Оно больше 25?" и т.д. Важно, что последовательность вопросов (код) заготовлена заранее и известна и отправителю и получателю.

Исследования Шеннона для английского языка дали значение $I_\infty \approx 1,4 \div 1,5$ бит, что по отношению к $I_0=4,755$ бит создает избыточность 0,68. Подобные оценки показывают, что и для других европейских языков, в том числе русского, избыточность составляет 60 – 70%. Это означает, что возможно почти трехкратное (!) сокращение текстов без ущерба для их содержательной стороны и выразительности. Например, телеграфные тексты делаются короче за счёт отбрасывания союзов и предлогов без ущерба для смысла; в них же используются однозначно интерпретируемые сокращения «ЗПТ» и «ГЧК» вместо полных слов (эти сокращения приходится использовать, поскольку знаки «.» и «,» не входят в телеграфный алфавит). Однако такое «экономичное» представление слов снижает разборчивость языка, уменьшает возможность понимания речи при наличии шума (а это одна из проблем передачи информации по реальным линиям связи), а также исключает возможность локализации и исправления ошибки (написания или передачи) при её возникновении. Именно избыточность языка позволяет легко восстановить текст, даже если он содержит большое число ошибок или неполон. В этом смысле избыточность есть определенная страховка и гарантия разборчивости.

На практике учёт корреляций в сочетаниях знаков сообщения весьма затруднителен, поскольку требует объемных статистических исследований текстов. Кроме того, корреляционные вероятности зависят от характера текстов и целого ряда иных их особенностей. По этим причинам в дальнейшем мы ограничим себя рассмотрением только шенноновских сообщений, т.е. будем учитывать различную (априорную) вероятность появления знаков в тексте, но не их корреляции.

2.3 Двоичная система счисления

Система счисления - символический метод записи чисел, представление чисел с помощью письменных знаков. Система счисления: даёт представления множества чисел (целых или вещественных); даёт каждому числу уникальное представление (или, по крайней мере, стандартное представление); отражает алгебраическую и арифметическую структуру чисел.

Мы не будем сейчас рассматривать все существующие системы счисления, а сразу перейдём к двоичной системе, имея ввиду, что она широко применяется в практике кодирования сигналов.

Двоичная система счисления - это позиционная система счисления с основанием 2.

Позиционная система счисления – система счисления, в которой один и тот же числовой знак (цифра) в записи числа имеет различные значения в зависимости от того места (разряда), где он расположен.

В этой системе счисления натуральные числа записываются с помощью всего лишь двух символов (в роли которых обычно выступают цифры 0 и 1).

Двоичная система используется в цифровых устройствах, т.к. является наиболее простой и соответствует требованиям: 1) Чем меньше значений существует в системе, тем проще изготовить отдельные элементы, оперирующие этими значениями. В частности, две цифры двоичной системы счисления могут быть легко представлены многими физическими явлениями: есть ток — нет тока, индукция магнитного поля больше пороговой величины или нет и т. д. 2) Чем меньше количество состояний у элемента, тем выше помехоустойчивость и тем быстрее он может работать. Например, чтобы закодировать три состояния через величину индукции магнитного поля, потребуется ввести два пороговых значения, что не будет способствовать помехоустойчивости и надёжности хранения информации. 3) Двоичная арифметика является довольно простой. Простыми являются таблицы сложения и умножения - основных действий над числами. 4) Возможно применение аппарата алгебры логики для выполнения побитовых операций над числами.

В цифровой электронике одному двоичному разряду в двоичной системе счисления соответствует один двоичный логический элемент (инвертор с логикой на входе) с двумя состояниями (открыт, закрыт).

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

$$10 + 10 = 100$$

Таблица умножения двоичных чисел

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

Использование двоичной системы при измерении дюймами

При указании линейных размеров в дюймах по традиции используют двоичные дроби, а не десятичные, например: $5\frac{3}{4}$ ", $7\frac{15}{16}$ ", $3\frac{11}{32}$ " и т.д.

Преобразование чисел

Для преобразования из двоичной системы в десятичную используют следующую таблицу степеней основания 2:

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
-----	-----	-----	----	----	----	---	---	---	---

Начиная с цифры 1 все цифры умножаются на два. Точка, которая стоит после 1 называется двоичной точкой.

Преобразование двоичных чисел в десятичные

Допустим, вам дано двоичное число 110001. Для перевода в десятичное просто запишите его справа налево как сумму по разрядам следующим образом:

$$1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 = 1 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 4 + 0 \times 8 + 1 \times 16 + 1 \times 32 = 49.$$

Можно записать это в виде таблицы следующим образом:

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
				1	1	0	0	0	1
				+32	+16				+1

Точно так же, начиная с двоичной точки, двигайтесь справа налево. Под каждой двоичной единицей напишите её эквивалент в строчке ниже. Сложите получившиеся десятичные числа. Таким образом, двоичное число 110001 равнозначно десятичному 49.

Для того, что бы преобразовывать числа из двоичной в десятичную систему данным методом, надо суммировать цифры слева-направо, умножая ранее полученный результат на основу системы (в данном случае 2). Например, двоичное число 1011011 переводится в десятичную систему так:

$0*2+1=1 \gg 1*2+0=2 \gg 2*2+1=5 \gg 5*2+1=11 \gg 11*2+0=22 \gg 22*2+1=45 \gg 45*2+1=91$. В десятичной системе это число будет записано как 91. Или число 101111 переводится в десятичную систему так: $0*2+1=1 \gg 1*2+0=2 \gg 2*2+1=5 \gg 5*2+1=11 \gg 11*2+1=23 \gg 23*2+1=47$. То есть в десятичной системе это число будет записано как 47.

Преобразование десятичных чисел к ближайшей степени двойки, не меньшей этого числа. Ниже приведена функция, возвращающая число, не меньшее аргумента, и являющееся степенью двух.

```
unsigned int to_deg_2(unsigned int num){int i; if ( num == 1 ) return 2;for( num-=1,i=1; i < sizeof (unsigned int)*8; i*=2 ) num = num|(num>>i); return num+1;}
```

Допустим, нужно перевести число 19 в двоичное. Следует воспользоваться следующей процедурой:

$19 / 2 = 9$ с остатком 1

$9 / 2 = 4$ с остатком 1

$4 / 2 = 2$ с остатком 0

$2 / 2 = 1$ с остатком 0

$1 / 2 = 0$ с остатком 1

Итак, мы делим каждое частное на 2 и записываем в остаток 1 или 0. Продолжать деление надо пока в делимом не будет 1. Ставим числа из остатка друг за другом, начиная с конца. В результате получаем число 19 в двоичной записи (начиная с конца): 10011.

3. ПРАКТИКА КОДИРОВАНИЯ

3.1 Кодирование сигнала

Кодирование сигнала – это его представление в определенной форме, удобной для последующего использования сигнала, т.е. это правило, описывающее отображение одного набора знаков в другой набор знаков. Тогда отображаемый набор знаков называется исходным алфавитом, а набор знаков, который используется для отображения, – кодовым алфавитом, или алфавитом для кодирования. При этом кодированию подлежат как отдельные символы исходного алфавита, так и их комбинации. Аналогично для построения кода используются как отдельные символы кодового алфавита, так и их комбинации. Например, дана таблица соответствия между натуральными числами трёх систем счисления. Эту таблицу можно рассматривать как некоторое правило, описывающее отображение набора знаков десятичной системы счисления в двоичную и шестнадцатеричную. Тогда исходный алфавит – десятичные цифры от 0 до 9, а кодовые алфавиты – это 0 и 1 для двоичной системы; цифры от 0 до 9 и символы {A, B, C, D, E, F} – для шестнадцатеричной.

Кодовой комбинацией (кодом) называется совокупность символов кодового алфавита, применяемых для кодирования одного символа (или одной комбинации символов) исходного алфавита. При этом кодовая комбинация может содержать один символ кодового алфавита. Исходным символом называется символ (или комбинация символов) исходного алфавита, которому соответствует кодовая комбинация. Например, поскольку $8 = 1000_2$ и 8 является исходным символом, 1000 – это кодовая комбинация, или код, для числа 8. В то же время 8 – это исходный символ. Совокупность кодовых комбинаций называется кодом. Взаимосвязь символов (или комбинаций символов, если кодируются не отдельные символы) исходного алфавита с их кодовыми комбинациями составляет таблицу соответствия (таблицу кодов). Обратная процедура получения исходных символов по кодам символов называется декодированием. Очевидно, для выполнения правильного декодирования код должен быть однозначным, т.е. одному исходному символу должен соответствовать точно один код и наоборот.

В зависимости от целей кодирования, различают следующие его виды:

- кодирование по образцу – используется всякий раз при вводе информации в компьютер для её внутреннего представления;
- криптографическое кодирование, или шифрование, – используется, когда нужно защитить информацию от несанкционированного доступа;
- эффективное, или оптимальное, кодирование – используется для устранения избыточности информации, т.е. снижения ее объема, например, в архиваторах;
- помехозащитное, или помехоустойчивое, кодирование – используется для обеспечения заданной достоверности в случае, когда на сигнал накладывается помеха, например, при передаче информации по каналам связи.

3.2 Первая теорема Шеннона

В предыдущей лекции мы рассмотрели все теоремы Шеннона, сейчас обсудим одну из них – первую теорему, теперь уже конкретно к применению в кодировании.

Первая теорема Шеннона о передаче информации, которая называется также основной теоремой о кодировании при отсутствии помех, формулируется следующим образом:

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором среднее число знаков кода, приходящихся на один знак кодируемого алфавита, будет сколь угодно близко к отношению средних информаций на знак первичного и вторичного алфавитов.

Используя понятие избыточности кода, можно дать более короткую формулировку теоремы:

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором избыточность кода будет сколь угодно близкой к нулю.

Эта теорема открывает принципиальную возможность оптимального кодирования. Но из неё никоим образом не следует, как такое кодирование осуществить практически – для этого должны привлекаться какие-то дополнительные соображения.

Далее в основном ограничим себя ситуацией, когда $M = 2$, т.е. для представления кодов в линии связи используется лишь два типа сигналов – с практической точки зрения это наиболее просто реализуемый вариант (например, существование напряжения в проводе (будем называть это импульсом) или его отсутствие (пауза); наличие или отсутствие отверстия на перфокарте или намагниченной области на диске); подобное кодирование называется двоичным. Знаки двоичного алфавита принято обозначать «0» и «1», но нужно воспринимать их как буквы, а не цифры. Удобство двоичных кодов и в том, что при равных длительностях и вероятностях каждый элементарный сигнал (0 или 1) несет в себе 1 бит информации ($\log_2 M = 1$); тогда из теоремы Шеннона:

$$I_1^{(A)} \leq K^{(2)}$$

и первая теорема Шеннона получает следующую интерпретацию:

При отсутствии помех передачи средняя длина двоичного кода может быть сколь угодно близкой к средней информации, приходящейся на знак первичного алфавита.

В двоичной системе кодирования:

$$Q = 1 - \frac{I_1^{(A)}}{K^{(2)}}$$

Определение количества переданной информации при двоичном кодировании сводится к простому подсчету числа импульсов (единиц) и пауз (нулей). При этом возникает проблема выделения из потока сигналов (последовательности импульсов и пауз) отдельных кодов. Приемное устройство фиксирует интенсивность и длительность сигналов. Элементарные сигналы (0 и 1) могут иметь одинаковые или разные длительности. Их количество в коде (длина кодовой цепочки), который ставится в соответствие знаку первичного алфавита, также может быть одинаковым (в этом случае код называется равномерным) или разным (неравномерный код). Наконец, коды могут строиться для каждого знака исходного алфавита (алфавитное кодирование) или для их комбинаций (кодирование блоков, слов). В результате при кодировании (алфавитном и словесном) возможны следующие варианты сочетаний:

Табл. 1. Варианты сочетаний

Длительности элементарных сигналов	Кодировка первичных символов (слов)	Ситуация
одинаковые	равномерная	(1)
одинаковые	неравномерная	(2)
разные	равномерная	(3)
разные	неравномерная	(4)

В случае использования неравномерного кодирования или сигналов разной длительности (ситуации (2), (3) и (4)) для отделения кода одного знака от другого между ними необходимо передавать специальный сигнал – временной разделитель (признак конца знака) или применять такие коды, которые оказываются уникальными, т.е. несовпадающими с частями других кодов. При равномерном кодировании одинаковыми по длительности сигналами (ситуация (1)) передачи специального разделителя не требуется, поскольку отделение одного кода от другого производится по общей длительности, которая для всех кодов оказывается одинаковой (или одинаковому числу бит при хранении).

Длительность двоичного элементарного импульса (τ) показывает, сколько времени требуется для передачи 1 бит информации. Очевидно, для передачи информации, в среднем приходящейся на знак первичного алфавита, необходимо время $K^{(r)}\tau$. Таким образом, можно построить такую систему кодирования, чтобы суммарная длительность кодов при передаче (или суммарное число кодов при хранении) данного сообщения была бы наименьшей.

3.3 Способы кодирования/декодирования информации

Коды по образцу. Данный вид кодирования применяется для представления дискретного сигнала на том или ином машинном носителе. Большинство кодов, используемых в информатике для кодирования по образцу, имеют одинаковую длину и используют двоичную систему для представления кода (и, возможно, шестнадцатеричную как средство промежуточного представления).

Криптографические коды. Криптографические коды используются для защиты сообщений от несанкционированного доступа, потому называются также шифрованными. В качестве символов кодирования могут использоваться как символы произвольного алфавита, так и двоичные коды. Существуют различные методы, рассмотрим два из них: метод простой подстановки и метод Вижинера.

Эффективное кодирование. Этот вид кодирования используется для уменьшения объемов информации на носителе - сигнале. Для кодирования символов исходного алфавита используют двоичные коды переменной длины: чем больше частота символа, тем короче его код.

Эффективность кода определяется средним числом двоичных разрядов для кодирования одного символа – I_{cp} по формуле

$$I_{\bar{n}\partial} = \sum_{i=1}^k f_i n_i,$$

где k – число символов исходного алфавита; n_s – число двоичных разрядов для кодирования символа s ; f_s – частота символа s ; причем $\sum_{i=1}^e f_i = 1$.

При эффективном кодировании существует предел сжатия, ниже которого не «спускается» ни один метод эффективного кодирования - иначе будет потеряна информация. Этот параметр определяется **предельным значением двоичных разрядов** возможного эффективного кода – I_{np} :

$$I_{\bar{i}\partial} = - \sum_{i=1}^n f_i \log_2 f_i,$$

где n – мощность кодируемого алфавита, f_i – частота i -го символа кодируемого алфавита.

Существуют два классических метода эффективного кодирования: метод Шеннона-Фано и метод Хаффмена. Входными данными для обоих методов является заданное множество исходных символов для кодирования с их частотами; результат - эффективные коды.

Метод Шеннона-Фано. Этот метод требует упорядочения исходного множества символов по не возрастанию их частот. Затем выполняются следующие шаги:

- список символов делится на две части (назовем их первой и второй частями) так, чтобы суммы частот обеих частей (назовем их Σ_1 и Σ_2) были точно или примерно равны. В случае, когда точного равенства достичь не удастся, разница между суммами должна быть минимальна;
- кодovým комбинациям первой части дописывается 1, кодovým комбинациям второй части дописывается 0;
- анализируют первую часть: если она содержит только один символ, работа с ней заканчивается, – считается, что код для ее символов построен, и выполняется переход к шагу г) для построения кода второй части. Если символов больше одного, переходят к шагу а) и процедура повторяется с первой частью как с самостоятельным упорядоченным списком;
- анализируют вторую часть: если она содержит только один символ, работа с ней заканчивается и выполняется обращение к оставшемуся списку (шаг д). Если символов больше одного, переходят к шагу а) и процедура повторяется со второй частью как с самостоятельным списком;
- анализируется оставшийся список: если он пуст – код построен, работа заканчивается. Если нет, – выполняется шаг а).

Пример 1. Даны символы a, b, c, d с частотами $f_a = 0,5$; $f_b = 0,25$; $f_c = 0,125$; $f_d = 0,125$. Построить эффективный код методом Шеннона-Фано. Сведем исходные данные в таблицу, упорядочив их по не возрастанию частот:

Исходные символы	Частоты символов
a	0,5
b	0,25
c	0,125
d	0,125

Первая линия деления проходит под символом a : соответствующие суммы Σ_1 и Σ_2 равны между собой и равны 0,5. Тогда формируемым кодovým комбинациям дописывается 1 для верхней (первой) части и 0 для нижней (второй)

части. Поскольку это первый шаг формирования кода, двоичные цифры не дописываются, а только начинают формировать код:

Исходные символы	Частоты символов	Формируемый код
<i>a</i>	0,5	1
<i>b</i>	0,25	0
<i>c</i>	0,125	0
<i>d</i>	0,125	0

В силу того, что верхняя часть списка содержит только один элемент (символ *a*), работа с ней заканчивается, а эффективный код для этого символа считается сформированным (в таблице, приведенной выше, эта часть списка частот символов выделена заливкой). Второе деление выполняется под символом *b*: суммы частот Σ_1 и Σ_2 вновь равны между собой и равны 0,25. Тогда кодовой комбинации символов верхней части дописывается 1, а нижней части – 0. Таким образом, к полученным на первом шаге фрагментам кода, равным 0, добавляются новые символы:

Исходные символы	Частоты символов	Формируемый код
<i>a</i>	0,5	1
<i>b</i>	0,25	01
<i>c</i>	0,125	00
<i>d</i>	0,125	00

Поскольку верхняя часть нового списка содержит только один символ (*b*), формирование кода для него закончено (соответствующая строка таблицы вновь выделена заливкой). Третье деление проходит между символами *c* и *d*: к кодовой комбинации символа *c* приписывается 1, коду символа *d* приписывается 0:

Исходные символы	Частоты символов	Формируемый код
<i>a</i>	0,5	1
<i>b</i>	0,25	01
<i>c</i>	0,125	001
<i>d</i>	0,125	000

Поскольку обе оставшиеся половины исходного списка содержат по одному элементу, работа со списком в целом заканчивается.

Таким образом, получили коды:

a - 1, *b* - 01, *c* - 001, *d* - 000.

Определим эффективность построенного кода по формуле:

$$I_{cp} = 0,5 \cdot 1 + 0,25 \cdot 01 + 0,125 \cdot 3 + 0,125 \cdot 3 = 1,75.$$

Поскольку при кодировании четырех символов кодом постоянной длины требуется два двоичных разряда, сэкономлено 0,25 двоичного разряда в среднем на один символ.

Метод Хаффмана. Этот метод имеет два преимущества по сравнению с методом Шеннона-Фано: он устраняет неоднозначность кодирования, возникающую из-за примерного равенства сумм частот при разделении списка на две части (линия деления проводится неоднозначно), и имеет, в общем случае, большую эффективность кода. Исходное множество символов упорядочивается по не возрастанию частоты и выполняются следующие шаги:

1) объединение частот:

две последние частоты списка складываются, а соответствующие символы исключаются из списка; оставшийся после исключения символов список пополняется суммой частот и вновь упорядочивается; предыдущие шаги повторяются до тех пор, пока не получится единица в результате суммирования и список ни уменьшится до одного символа;

2) построение кодового дерева:

строится двоичное кодовое дерево: корнем его является вершина, полученная в результате объединения частот, равная 1; листьями – исходные вершины; остальные вершины соответствуют либо суммарным, либо исходным частотам, причем для каждой вершины левая подчиненная вершина соответствует большему слагаемому, а правая – меньшему; ребра дерева связывают вершины-суммы с вершинами-слагаемыми. Структура дерева показывает, как происходило объединение частот;

ребра дерева кодируются: каждое левое кодируется единицей, каждое правое – нулём;

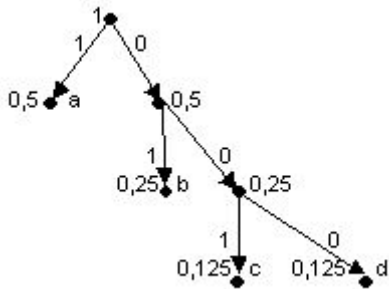
3) формирование кода: для получения кодов листьев (исходных кодируемых символов) продвигаются от корня к нужной вершине и «собирают» веса проходимых рёбер.

Пример 1. Даны символы a, b, c, d с частотами $f_a = 0,5; f_b = 0,25; f_c = 0,125; f_d = 0,125$. Построить эффективный код методом Хаффмана.

1) объединение частот (результат объединения двух последних частот в списке выделен в правом соседнем столбце заливкой):

Исходные символы	Частоты f_s	Этапы объединения		
		первый	второй	третий
a	0,5	0,5	0,5	1
b	0,25	0,25	0,5	
c	0,125	0,25		
d	0,125			

2) построение кодового дерева:



3) формирование кода:

$a - 1; b - 01; c - 001; d - 000$.

Как видно, полученные коды совпадают с теми, что были сформированы методом Шеннона-Фано, следовательно, они имеют одинаковую эффективность.

Повышение эффективности кодирования

Повысить эффективность кодирования можно, строя код не для символа, а для блоков из n символов, причем частота блока рассчитывается как произведение частот символов, входящих в блок. Рассмотрим этот тезис на примере.

Пример 1. Даны символы a и b с частотами, соответственно, $0,9$ и $0,1$. Построить эффективный код методом Шеннона-Фано для блоков из двух символов ($n = 2$).

Сформируем список возможных блоков и их частот. При этом частоту блока будем рассчитывать как произведение частот символов, входящих в блок. Тогда имеем:

Блоки исходных Частоты блоков

символов

aa	0,81
ab	0,09
ba	0,09
bb	0,01

Построение кода сведём в таблицу:

Блоки исходных символов	Частоты блоков	Этапы построения кода		
		первый	второй	третий
aa	0,81	1	код построен	
ab	0,09	0	1	код построен
ba	0,09	0	0	1
bb	0,01	0	0	0

Таким образом, получены коды:

$aa - 1; ab - 01; ba - 001; bb - 000$.

Определим эффективность построенного кода. Для этого рассчитаем сначала показатель эффективности для блока символов: $I_{cp}^{блока} = 0,81 \cdot 1 + 0,09 \cdot 2 + 0,09 \cdot 3 + 0,01 \cdot 3 = 1,28$. Поскольку в блоке 2 символа ($n=2$), для одного символа $I_{cp} = I_{cp}^{блока} / 2 = 1,28 / 2 = 0,64$. При посимвольном кодировании для эффективного кода потребуется по одному двоичному разряду. В самом деле, применение метода Шеннона-Фано даёт результат, представленный в таблице:

Исходные символы	Частоты символов	Построение кода
a	0,9	1
b	0,1	0

Таким образом, при блочном кодировании выигрыш составил $1 - 0,64 = 0,36$ двоичных разрядов на один кодируемый символ в среднем.

Эффективность блочного кодирования тем выше, чем больше символов включается в блок

Декодирование эффективных кодов

Особенностью эффективных кодов является переменное число двоичных разрядов в получаемых кодовых комбинациях. Это затрудняет процесс декодирования.

Рассмотрим вначале, как происходит декодирование сообщения, если использовались коды постоянной длины.

Пусть кодовая таблица имеет вид:

Исходные символы	Двоичные коды
a	00
b	01
c	10
d	11

а закодированное сообщение - 001000011101.

Поскольку длина кода равна двум символам, в этом сообщении слева направо выделяются по два двоичных символа и сопоставляются с кодовой таблицей.

Тогда имеем:

00	10	00	10	11	01
a	c	a	b	d	b

Таким образом, в исходном сообщении содержится текст $acabdb$. Декодирование выполнено. Для декодирования кодов переменной длины рассмотренный подход не годится. Но закодированные сообщения могут декодироваться благодаря свойству **префиксности** эффективных кодов: ни одна более короткая кодовая комбинация не является началом более длинной кодовой комбинации. Для раскрытия данного тезиса воспользуемся построенными ранее эффективными кодами:

a - 1; b - 01; c - 001; d - 000.

Здесь самым коротким кодом является код для символа a со значением 1. Как видно, ни один другой код (более длинный) не имеет в начале символ 1. Второй по длине код для символа b имеет значение 01 и, как показывает анализ, не является началом ни для кода 001, ни для кода 000. Таким образом, данный код является префиксным. Свойство префиксности позволяет декодировать сообщения, закодированные эффективными кодами. Пусть получено сообщение 1010010001, составленное из кодов

a - 1; b - 01; c - 001; d - 000.

Выполним его декодирование.

В сообщении слева направо выделяется по одному двоичному символу и делается попытка декодирования в соответствии с заданной таблицей кодов. Если попытка успешна, двоичный символ (или символы) исключается из исходной цепочки и заменяется соответствующим исходным символом. Если попытка не удастся, во входной цепочке выделяется следующий двоичный символ и уже с двумя двоичными символами делается попытка их декодирования по таблице кодов. Если попытка и тогда неудачна, выделяют следующий третий и т.д.

Итак, имеем (направление просмотра цепочки слева направо):

1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
a	-	-	-	-	-	-	-	-	a
└───┘		└───┘		└───┘		└───┘			
b		-		-		-			
└──────────┘				└──────────┘					
c				d					

Ответы к заданию 4. Клавиатура - 12 13 1 3 10 1 20 21 18 1. Память - 17 1 14 33 20 28. Информация - 10 15
 22 16 18 14 1 24 10 33. Код - 12 16 5

4. КОНКРЕТНЫЕ МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ

4.1 Алфавитное неравномерное двоичное кодирование

Данный случай относится к варианту (2) Табл. 1. При этом как следует из названия, символы некоторого первичного алфавита (например, русского) кодируются комбинациями символов двоичного алфавита (т.е. 0 и 1), причем, длина кодов и, соответственно, длительность передачи отдельного кода, могут различаться. Длительности элементарных сигналов при этом одинаковы ($\tau_0 = \tau_1 = \tau$). За счет чего можно оптимизировать кодирование в этом случае? Очевидно, суммарная длительность сообщения будет меньше, если применить следующий подход: тем буквам первичного алфавита, которые встречаются чаще, присвоить более короткие по длительности коды, а тем, относительная частота которых меньше – коды более длинные. Но длительность кода – величина дискретная, она кратна длительности сигнала τ передающего один символ двоичного алфавита. Следовательно, коды букв, вероятность появления которых в сообщении выше, следует строить из возможно меньшего числа элементарных сигналов. Построим кодовую таблицу для букв русского алфавита, основываясь на приведенных ранее вероятностях появления отдельных букв.



Очевидно, возможны различные варианты двоичного кодирования, однако, не все они будут пригодны для практического использования – важно, чтобы закодированное сообщение могло быть однозначно декодировано, т.е. чтобы в последовательности 0 и 1, которая представляет собой многобуквенное кодированное сообщение, всегда можно было бы различить обозначения отдельных букв. Проще всего этого достичь, если коды будут разграничены разделителем – некоторой постоянной комбинацией двоичных знаков. Условимся, что разделителем отдельных кодов букв будет последовательность 00 (признак конца знака), а разделителем слов – 000 (признак конца слова – пробел). Довольно очевидными оказываются следующие правила построения кодов:

- код признака конца знака может быть включен в код буквы, поскольку не существует отдельно (т.е. коды всех букв будут заканчиваться 00);
- коды букв не должны содержать двух и более нулей подряд в середине (иначе они будут восприниматься как конец знака);
- код буквы (кроме пробела) всегда должен начинаться с 1;
- разделителю слов (000) всегда предшествует признак конца знака; при этом реализуется последовательность 00000 (т.е. если в конце кода встречается комбинация ...000 или ...0000, они не воспринимаются как разделитель слов); следовательно, коды букв могут оканчиваться на 0 или 00 (до признака конца знака).

Длительность передачи каждого отдельного кода t_i , очевидно, может быть найдена следующим образом: $t_i = k_i \cdot \tau$, где k_i – количество элементарных сигналов (бит) в коде символа i . В соответствии с приведенными выше правилами получаем следующую таблицу кодов:

Табл. 1. Таблица кодов

Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i	Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i
пробел	000	174	3	я	1011000	18	7
о	100	90	3	ы	1011100	16	7
е	1000	72	4	з	1101000	16	7
а	1100	62	4	ь,ъ	1101100	14	7
и	10000	62	5	б	1110000	14	7
т	10100	53	5	г	1110100	13	7
н	11000	53	5	ч	1111000	12	7
с	11100	45	5	й	1111100	10	7
р	101000	40	6	х	10101000	9	8
в	101100	38	6	ж	10101100	7	8
л	110000	35	6	ю	10110000	6	8
к	110100	28	6	ш	10110100	6	8
м	111000	26	6	ц	10111000	4	8
д	111100	25	6	щ	10111100	3	8
п	1010000	23	7	э	11010000	3	8
у	1010100	21	7	ф	11010100	2	8

Теперь по формуле можно найти среднюю длину кода $K^{(2)}$ для данного способа кодирования:

$$K^{(2)} = \sum_{i=1}^{32} p_i \cdot k_i = 4,964$$

Поскольку для русского языка, $I_l(r)=4,356$ бит, избыточность данного кода, согласно (2), составляет:

$$Q(r) = 1 - 4,356/4,964 \approx 0,122;$$

это означает, что при данном способе кодирования будет передаваться приблизительно на 12% больше информации, чем содержит исходное сообщение. Аналогичные вычисления для английского языка дают значение $K(2) = 4,716$, что при $I_l(e) = 4,036$ бит приводят к избыточности кода $Q(e) = 0,144$.

Рассмотрев один из вариантов двоичного неравномерного кодирования, попробуем найти ответы на следующие вопросы: возможно ли такое кодирование без использования разделителя знаков? Существует ли наиболее оптимальный способ неравномерного двоичного кодирования?

Суть первой проблемы состоит в нахождении такого варианта кодирования сообщения, при котором последующее выделение из него каждого отдельного знака (т.е. декодирование) оказывается однозначным без специальных указателей разделения знаков. Наиболее простыми и употребимыми кодами такого типа являются так называемые префиксные коды, которые удовлетворяют следующему условию (условию Фано): Неравномерный код может быть однозначно декодирован, если никакой из кодов не совпадает с началом (префиксом) какого-либо иного более длинного кода. Например, если имеется код 110, то уже не могут использоваться коды 1, 11, 1101, 110101 и пр. Если условие Фано выполняется, то при прочтении (расшифровке) закодированного сообщения путем сопоставления со списком кодов всегда можно точно указать, где заканчивается один код и начинается другой.

Пример 1. Пусть имеется следующая таблица префиксных кодов:

Табл. 2. Таблица кодов

а	л	м	р	у	ы
10	010	00	11	0110	0111

Требуется декодировать сообщение: 00100010000111010101110000110. Декодирование производится циклическим повторением следующих действий. Отрезать от текущего сообщения крайний левый символ, присоединить к рабочему кодовому слову. Сравнить рабочее кодовое слово с кодовой таблицей; если совпадения нет, перейти к (1). Декодировать рабочее кодовое слово, очистить его. Проверить, имеются ли еще знаки в сообщении; если "да", перейти к (1).

Применение данного алгоритма даёт:

Шаг	Рабочее слово	Текущее сообщение	Распознанный знак	Декодированное сообщение
0	пусто	00100010000111010101110000110	—	—
1	0	0100010000111010101110000110	нет	—
2	00	100010000111010101110000110	М	М
3	00	00010000111010101110000110	нет	М
4	10	0010000111010101110000110	а	МА
5	0	010000111010101110000110	нет	МА
6	00	10000111010101110000110	М	МАМ

Доведя процедуру до конца, получим сообщение: «мама мыла раму».

Таким образом, использование префиксного кодирования позволяет делать сообщение более коротким, поскольку нет необходимости передавать разделители знаков. Однако условие Фано не устанавливает способа формирования префиксного кода и, в частности, наилучшего из возможных.

Способ оптимального префиксного двоичного кодирования был предложен Д.Хатфманом. Построение кодов Хатфмана мы рассмотрим на следующем примере: пусть имеется первичный алфавит A , состоящий из шести знаков a_1, \dots, a_6 с вероятностями появления в сообщении, соответственно, 0,3; 0,2; 0,2; 0,15; 0,1; 0,05. Создадим новый вспомогательный алфавит A_1 , объединив два знака с наименьшими вероятностями (a_5 и a_6) и заменив их одним знаком (например, a_1); вероятность нового знака будет равна сумме вероятностей тех, что в него вошли, т.е. 0,15; остальные знаки исходного алфавита включим в новый без изменений; общее число знаков в новом алфавите, очевидно, будет на 1 меньше, чем в исходном. Аналогичным образом продолжим создавать новые алфавиты, пока в последнем не останется два знака; ясно, что число таких шагов будет равно $N - 2$, где N – число знаков исходного алфавита (в нашем случае $N = 6$, следовательно, необходимо построить 4 вспомогательных алфавита). В промежуточных алфавитах каждый раз будем переупорядочивать знаки по убыванию вероятностей. Всю процедуру построения представим в виде таблицы:

№ знака	Вероятности				
	Исходный алфавит	Промежуточные алфавиты			
		$A^{(1)}$	$A^{(2)}$	$A^{(3)}$	$A^{(4)}$
1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6
2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
3	0,2	0,2	0,2	0,3	
4	0,15	0,15	0,2		
5	0,1	0,15			
6	0,05				

Теперь в обратном направлении поведем процедуру кодирования. Двум знакам последнего алфавита присвоим коды 0 и 1 (какому – роли не играет; условимся, что верхний знак будет иметь код 0, а нижний – 1). В нашем примере знак $a_1(4)$ алфавита $A(4)$, имеющий вероятность 0,6, получит код 0, а $a_2(4)$ с вероятностью 0,4 – код 1. В алфавите $A(3)$ знак $a_1(3)$ с вероятностью 0,4 сохранит свой код (1); коды знаков $a_2(3)$ и $a_3(3)$, объединенных знаком $a_1(4)$ с вероятностью 0,6, будут уже двузначным: их первой цифрой станет код связанного с ними знака (т.е. 0), а вторая цифра – как условились – у верхнего 0, у нижнего – 1; таким образом, $a_2(3)$ будет иметь код 00, а $a_3(3)$ – код 01. Полностью процедура кодирования представлена в следующей таблице:

№ знака	Вероятности									
	Исходный алфавит		Промежуточные алфавиты							
			$A^{(1)}$		$A^{(2)}$		$A^{(3)}$		$A^{(4)}$	
1	0,3	00	0,3	00	0,3	00	0,4	1	0,6	0
2	0,2	10	0,2	10	0,3	01	0,3	00	0,4	1
3	0,2	11	0,2	11	0,2	10	0,3	01		
4	0,15	010	0,15	010	0,2	11				
5	0,1	0110	0,15	011						
6	0,05	0111								

Из самой процедуры построения кодов легко видеть, что они удовлетворяют условию Фано и, следовательно, не требуют разделителя. Средняя длина кода при этом оказывается:

$$K^{(2)} = 0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 2,45.$$

Для сравнения можно найти $I_1^{(A)}$ – она оказывается равной 2,409, что соответствует избыточности кода $Q = 0,0169$, т.е. менее 2%.

Код Хаффмана важен в теоретическом отношении, поскольку можно доказать, что он является самым экономичным из всех возможных, т.е. ни для какого метода алфавитного кодирования длина кода не может оказаться меньше, чем код Хаффмана.

Применение описанного метода для букв русского алфавита дает следующие коды:

Табл. 3. Таблица кодов русских букв

Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i	Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i
пробел	000	174	3	я	0011001	18	6
о	111	90	3	ы	0101100	16	6
е	0100	72	4	з	010111	16	6
а	0110	62	4	ь,ъ	100001	14	6
и	0111	62	4	б	101100	14	6
т	1001	53	4	г	101101	13	6
н	1010	53	5	ч	110011	12	6
с	1101	45	4	й	0011001	10	7
р	00101	40	5	х	1000000	9	7
в	00111	38	5	ж	1000001	7	7
л	01010	35	5	ю	1100101	6	7
к	10001	28	5	ш	00110000	6	8
м	10111	26	5	ц	11001000	4	8
д	11000	25	5	щ	11001001	3	8
п	001000	23	6	э	001100010	3	9
у	001001	21	6	ф	001100011	2	9

Средняя длина кода оказывается равной $K(2) = 4,395$; избыточность кода $Q(r) = 0,00887$, т.е. менее 1%.

Таким образом, можно заключить, что существует метод построения оптимального неравномерного алфавитного кода. Не следует думать, что он представляет число теоретический интерес. Метод Хаффмана и его модификация – метод адаптивного кодирования (динамическое кодирование Хаффмана) – нашли широчайшее применение в программах-архиваторах, программах резервного копирования файлов и дисков, в системах сжатия информации в модемах и факсах.

Кодирование энтропии - кодирования словами (кодами) переменной длины, при которой длина кода символа имеет обратную зависимость от вероятности появления символа в передаваемом сообщении. Обычно энтропийные кодировщики используют для сжатия данных коды, длины которых пропорциональны отрицательному логарифму вероятности символа. Таким образом, наиболее вероятные символы используют наиболее короткие коды.

4.2 Равномерное алфавитное двоичное кодирование

В этом случае двоичный код первичного алфавита строится цепочками равной длины, т.е. со всеми знаками связано одинаковое количество информации равное I_0 . Передавать признак конца знака не требуется, поэтому для определения длины кодовой цепочки можно воспользоваться формулой: $K^{(2)} \geq \log_2 N$. Приемное устройство просто отсчитывает оговоренное заранее количество элементарных сигналов и интерпретирует цепочку (устанавливает, какому знаку она соответствует). Правда, при этом недопустимы сбои, например, пропуск (непрочтение) одного элементарного сигнала приведет к сдвигу всей кодовой последовательности и неправильной ее интерпретации; решается проблема путем синхронизации передачи или иными способами. С другой стороны, применение равномерного кода оказывается одним из средств контроля правильности передачи, поскольку факт поступления лишнего элементарного сигнала или, наоборот, поступление неполного кода сразу интерпретируется как ошибка.

Примером равномерного алфавитного кодирования является телеграфный код Бодо, пришедший на смену азбуке Морзе. Исходный алфавит должен содержать не более 32-х символов; тогда $K^{(2)} = \log_2 32 = 5$, т.е. каждый знак содержит 5 бит информации. Условие $N \leq 32$, очевидно, выполняется для языков,

основанных на латинском алфавите ($N = 27 = 26 + \text{"пробел"}$), однако в русском алфавите 34 буквы (с пробелом) – именно по этой причине пришлось "сжать" алфавит (как в коде Хаффмана) и объединить в один знак "е" и "ё", а также "ь" и "Ь". После такого сжатия $N = 32$, однако, не остается свободных кодов для знаков препинания, поэтому в телеграммах они отсутствуют или заменяются буквенными аббревиатурами; это не является заметным ограничением, поскольку, как указывалось выше, избыточность языка позволяет легко восстановить информационное содержание сообщения. Избыточность кода Бодо для русского языка $Q^{(r)} = 0,129$, для английского $Q^{(e)} = 0,193$.

Другим важным для нас примером использования равномерного алфавитного кодирования является представление символьной информации в компьютере. Чтобы определить длину кода, необходимо начать с установления количества знаков в первичном алфавите. Компьютерный алфавит должен включать:

26*2=52 букв латинского алфавита (с учетом прописных и строчных);

33*2=66 букв русского алфавита;

цифры 0...9 – всего 10;

знаки математических операций, знаки препинания, спецсимволы ≈ 20 .

Получаем, что общее число символов $N=148$. Теперь можно оценить длину кодовой цепочки: $K^{(2)} \geq \log_2 148 \geq 7,21$. Поскольку $K^{(2)}$ должно быть целым, очевидно, $K^{(2)} = 8$. Именно такой способ кодирования принят в компьютерных системах: любому символу ставится в соответствие цепочка из 8 двоичных разрядов (8 бит). Такая цепочка получила название *байт*, а представление таким образом символов – *байтовым кодированием*.

Байт наряду с битом может использоваться как единица измерения количества информации в сообщении. Один байт соответствует количеству информации в одном символе алфавита при их равновероятном распределении. Этот способ измерения количества информации называется также *объемным*. Пусть имеется некоторое сообщение (последовательность знаков); оценка количества содержащейся в нём информации согласно рассмотренному ранее вероятностному подходу (с помощью формулы Шеннона) даёт $I_{вер}$, а объемная мера пусть равна $I_{об}$; соотношение между этими величинами: $I_{вер} \leq I_{об}$

Именно байт принят в качестве единицы измерения количества информации в международной системе единиц СИ. 1 байт = 8 бит. Использование 8-битных цепочек позволяет закодировать $2^8=256$ символов, что превышает оцененное выше N и, следовательно, дает возможность употребить оставшуюся часть кодовой таблицы для представления дополнительных символов.

Однако недостаточно только условиться об определенной длине кода. Ясно, что способов кодирования, т.е. вариантов сопоставления знакам первичного алфавита восьмибитных цепочек, очень много. По этой причине для совместимости технических устройств и обеспечения возможности обмена информацией между многими потребителями требуется согласование кодов. Подобное согласование осуществляется в форме стандартизации кодовых таблиц. Первым таким международным стандартом, который применялся на и телекоммуникационных системах применяется международный байтовый код больших вычислительных машинах, был *EBCDIC* (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) – *«расширенная двоичная кодировка десятичного кода обмена»*. В персональных компьютерах *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange* – *«американский стандартный код обмена информацией»*). Он регламентирует коды первой половины кодовой таблицы (номера кодов от 0 до 127, т.е. первый бит всех кодов 0). В эту часть попадают коды прописных и строчных английских букв, цифры, знаки препинания и математических операций, а также некоторые управляющие коды (номера от 0 до 31). Ниже приведены некоторые *ASCII*-коды:

Табл. 4. Некоторые *ASCII*-коды

Знак, клавиша	Код двоичный	Код десятичный
пробел	00100000	32
A (лат)	01000001	65
B (лат)	01000010	66
Z	01011010	90
0	00110000	48
1	00110001	49
9	00111001	57

Клавиша <i>ESC</i>	00011011	27
Клавиша <i>Enter</i>	00001101	13

Вторая часть кодовой таблицы – она считается расширением основной – охватывает коды в интервале от 128 до 255 (первый бит всех кодов 1). Она используется для представления символов национальных алфавитов (например, русского или греческого), а также символов псевдографики. Для этой части также имеются стандарты, например, для символов русского языка это *КОИ-8*, *КОИ-7* и др.

Как в основной таблице, так и в её расширении коды букв и цифр соответствуют их лексикографическому порядку (т.е. порядку следования в алфавите) – это обеспечивает возможность автоматизации обработки текстов и ускоряет ее.

В настоящее время появился и находит все более широкое применение еще один международный стандарт кодировки – *Unicode*. Его особенность в том, что в нем использовано 16-битное кодирование, т.е. для представления каждого символа отводится 2 байта. Такая длина кода обеспечивает включения в первичный алфавит 65536 знаков. Это, в свою очередь, позволяет создать и использовать единую для всех распространенных алфавитов кодовую таблицу.

4.3 Азбука Морзе

В качестве примера использования кодирования с неравной длительностью элементарных сигналов рассмотрим телеграфный код Морзе («азбука Морзе»). В нём каждой букве или цифре сопоставляется некоторая последовательность кратковременных импульсов – точек и тире, разделяемых паузами. Длительности импульсов и пауз различны: если продолжительность импульса, соответствующего точке, обозначить τ , то длительность импульса тире составляет 3τ , длительность паузы между точкой и тире τ , пауза между буквами слова 3τ , пауза между словами (пробел) – 6τ . Таким образом, под знаками кода Морзе следует понимать: «•» – «короткий импульс + короткая пауза», «-» – «длинный импульс + короткая пауза», «0» – «длинная пауза», т.е. код оказывается троичным.

Свой код Морзе разработал в 1838 г., т.е. задолго до исследований относительной частоты появления различных букв в текстах. Однако им был правильно выбран принцип кодирования – буквы, которые встречаются чаще, должны иметь более короткие коды, чтобы сократить общее время передачи. Относительные частоты букв английского алфавита он оценил простым подсчетом литер в ячейках типографской наборной машины. Поэтому самая распространенная английская буква «Е» получила код «точка». При составлении кодов Морзе для букв русского алфавита учёт относительной частоты букв не производился, что, естественно, повысило его избыточность. Как и в рассмотренных ранее вариантах кодирования, произведем оценку избыточности. По-прежнему для удобства сопоставления данные представим в приведенном ниже формате. Признак конца буквы («0») в их кодах не отображается, но учтён в величине k_i – длине кода буквы i .

Среднее значение длины кода $K^{(3)} = 3,361$. Полагая появление знаков вторичного алфавита равновероятным, получаем среднюю информацию на знак равной $I^{(2)} = \log_2 3 = 1,585$ бит. Так как для русского алфавита $I_1^{(1)} = 4,356$ бит, то:

$$Q^{(n)} = 1 - 4,356 / (3,361 - 1,585) \approx 0,182$$

т.е. избыточность составляет около 18% (для английского языка $\approx 15\%$). Тем не менее, код Морзе имел в недалеком прошлом весьма широкое распространение в ситуациях, когда источником и приемником сигналов являлся человек (не техническое устройство) и на первый план выдвигалась не экономичность кода, а удобство его восприятия человеком.

Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i	Буква	Код	$p_i \cdot 10^3$	k_i
пробел	00	174	2	я	....	18	5
о	----	90	4	ы	----	18	5
е	.	72	2	э	---	18	4
а	..	62	3	ь,ъ	....	14	5
и	..	62	3	б	....	14	5
т	-	53	2	г	---	13	4
н	---	53	3	ч	----	12	5
с	...	45	4	й	----	10	5
р	---	40	4	х	----	9	5
в	---	38	4	ж	---	7	5
л	----	36	5	ю	----	6	5
к	---	28	4	ш	----	6	5
м	--	26	2	ц	----	4	5
д	---	26	4	щ	----	3	5
п	---	23	4	э	----	3	6
у	---	21	4	ф	----	2	5

4.4 Блочное двоичное кодирование

Вернёмся к проблеме оптимального кодирования. Пока что наилучший результат (наименьшая избыточность) был получен при кодировании по методу Хаффмана – для русского алфавита избыточность оказалась менее 1%. При этом указывалось, что код Хаффмана улучшить невозможно. На первый взгляд это противоречит первой теореме Шеннона, утверждающей, что всегда можно предложить способ кодирования, при котором избыточность будет сколь угодно малой величиной. На самом деле это противоречие возникло из-за того, что до сих пор мы ограничивали себя алфавитным кодированием. При алфавитном кодировании передаваемое сообщение представляет собой последовательность кодов отдельных знаков первичного алфавита. Однако возможны варианты кодирования, при которых кодовый знак относится сразу к нескольким буквам первичного алфавита (будем называть такую комбинацию блоком) или даже к целому слову первичного языка. Кодирование блоков понижает избыточность. В этом легко убедиться на простом примере.

Пусть имеется словарь некоторого языка, содержащий $n = 16000$ слов (это, безусловно, более чем солидный словарный запас!). Поставим в соответствие каждому слову равномерный двоичный код. Очевидно, длина кода может быть найдена из соотношения $K^{(2)} \geq \log_2 n \geq 13,97 = 14$. Следовательно, каждому слову будет поставлена в соответствие комбинация из 14 нулей и единиц – получатся своего рода двоичные иероглифы. Например, пусть слову "ИНФОРМАТИКА" соответствует код 10101011100110, слову "НАУКА" – 00000000000001, а слову "ИНТЕРЕСНАЯ" – 00100000000010; тогда последовательность: 000000000000110101011100110000000000000001,

очевидно, будет означать "ИНФОРМАТИКА ИНТЕРЕСНАЯ НАУКА".

Легко оценить, что при средней длине русского слова $K^{(1)} = 6,3$ буквы (5,3 буквы + пробел между словами) средняя информация на знак первичного алфавита оказывается равной $I^{(2)} = K^{(2)}/K^{(1)} = 14/6,3 = 2,222$ бит, что почти в 2 раза меньше, чем 4,395 бит при алфавитном кодировании. Для английского языка такой метод кодирования дает 2,545 бит на знак. Таким образом, кодирование слов оказывается более выгодным, чем алфавитное.

Ещё более эффективным окажется кодирование в том случае, если сначала установить относительную частоту появления различных слов в текстах и затем использовать код Хаффмана. По относительным частотам 8727 наиболее употребительных в английском языке слов Шеннон, что средняя информация на знак первичного алфавита оказывается равной 2,15 бит. Вместо слов можно кодировать сочетания букв – блоки. В принципе блоки можно считать словами равной длины, не имеющими, однако, смыслового содержания. Удлиняя блоки и применяя код Хаффмана можно добиться того, что средняя информация на знак кода будет сколь угодно приближаться к I_∞ . Однако, применение блочного и словесного метода кодирования имеет свои недостатки. 1) Необходимо хранить огромную кодовую таблицу и постоянно к ней обращаться при кодировании и декодировании, что замедлит работу и потребует значительных ресурсов памяти. 2) Помимо основных слов разговорный язык содержит много производных

от них, например, падежи существительных в русском языке или глагольные формы в английском; в данном способе кодирования им всем нужно присвоить свои коды, что приведет к увеличению кодовой таблицы еще в несколько раз. 3) Возникает проблема согласования (стандартизации) этих громадных таблиц, что непросто. 4) Алфавитное кодирование имеет то преимущество, что буквами можно закодировать любое слово, а при кодировании слов – использовать только имеющийся словарный запас. По указанным причинам блочное и словесное кодирование представляет лишь теоретический интерес, на практике же применяется кодирование алфавитное.

5. ОБНАРУЖЕНИЕ И ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Обнаружение ошибок в технике связи - действие, направленное на контроль целостности данных при записи/воспроизведении информации или при её передаче по линиям связи. Исправление ошибок (коррекция ошибок) - процедура восстановления информации после чтения её из устройства хранения или канала связи. Для обнаружения ошибок используют коды обнаружения ошибок, для исправления - корректирующие коды (коды, исправляющие ошибки, коды с коррекцией ошибок, помехоустойчивые коды). В процессе хранения данных и передачи информации по сетям связи неизбежно возникают ошибки. Контроль целостности данных и исправление ошибок - важные задачи на многих уровнях работы с информацией.

В системах связи возможны несколько стратегий борьбы с ошибками:

обнаружение ошибок в блоках данных и *автоматический запрос повторной передачи* повреждённых блоков - этот подход применяется в основном на канальном и транспортном уровнях;

обнаружение ошибок в блоках данных и отбрасывание повреждённых блоков - такой подход иногда применяется в системах потокового мультимедиа, где важна задержка передачи и нет времени на повторную передачу;

исправление ошибок применяется на физическом уровне.

Корректирующие коды - коды, служащие для обнаружения или исправления ошибок, возникающих при передаче информации под влиянием помех, а также при её хранении.

Для этого при записи (передаче) в полезные данные добавляют специальным образом структурированную *избыточную* информацию (контрольное число), а при чтении (приёме) её используют для обнаружения или исправления ошибки. Число ошибок, которое можно исправить, ограничено и зависит от конкретного применяемого кода. С кодами, исправляющими ошибки, тесно связаны коды обнаружения ошибок. В отличие от первых, последние могут только установить факт наличия ошибки в переданных данных, но не исправить её. Любой код, исправляющий ошибки, может быть также использован для обнаружения ошибок (при этом он будет способен обнаружить большее число ошибок, чем был способен исправить).

По способу работы с данными коды, исправляющие ошибки делятся на *блоковые*, делящие информацию на фрагменты постоянной длины и обрабатывающие каждый из них в отдельности, и *свёрточные*, работающие с данными как с непрерывным потоком.

Пусть кодируемая информация делится на фрагменты длиной k бит, которые преобразуются в *кодовые слова* длиной n бит. Тогда соответствующий блоковый код обычно обозначают (n, k) . При этом число $R=k/n$ называется *скоростью кода*.

Если исходные k бит код оставляет неизменными, и добавляет $n - k$ *проверочных*, такой код называется *систематическим*, иначе *несистематическим*. Задать блоковый код можно по-разному, в том числе таблицей, где каждой совокупности из k информационных бит сопоставляется n бит кодового слова. Однако, хороший код должен удовлетворять, как минимум, следующим критериям: 1) способность исправлять как можно большее число ошибок, 2) как можно меньшая избыточность, 3) простота кодирования и декодирования.

Нетрудно видеть, что приведённые требования противоречат друг другу. Именно поэтому существует большое количество кодов, каждый из которых пригоден для своего круга задач.

Практически все используемые коды являются линейными. Это связано с тем, что нелинейные коды значительно сложнее исследовать, и для них трудно обеспечить приемлемую лёгкость кодирования и декодирования.

Линейный блоковый код - такой код, что множество его *кодовых слов* образует k -мерное линейное подпространство в n -мерном линейном пространстве, изоморфное пространству k -битных векторов. Это значит, что операция кодирования соответствует умножению исходного k -битного вектора на невырожденную матрицу, называемую *порождающей матрицей*.

Коды Хемминга - простейшие линейные коды с минимальным расстоянием 3, то есть способные исправить одну ошибку.

Несмотря на то, что декодирование линейных кодов уже значительно проще декодирования большинства нелинейных, для большинства кодов этот процесс всё ещё достаточно сложен. Циклические коды, кроме более простого декодирования, обладают и другими важными свойствами. Циклический код обычно является двоичным. Коды *CRC* (*cyclic redundancy check* - циклическая избыточная проверка) являются систематическими кодами, предназначенными не для исправления ошибок, а для их обнаружения. Коды Рида-Соломона - недвоичные циклические коды, позволяющие исправлять ошибки в блоках данных. Элементами кодового вектора являются не биты, а группы битов (блоки). Очень распространены коды Рида-Соломона, работающие с байтами (октетами). Математически коды Рида - Соломона являются кодами БЧХ. Хотя блочные коды, как правило, хорошо справляются с редкими, но большими *пачками ошибок*, их эффективность при частых, но небольших ошибках менее высока.

Свёрточные коды, в отличие от блочных, не делят информацию на фрагменты и работают с ней как со сплошным потоком данных. Свёрточные коды порождаются дискретной линейной инвариантной во времени системой. Поэтому, в отличие от большинства блочных кодов, свёрточное кодирование - очень простая операция, чего нельзя сказать о декодировании. Свёрточные коды эффективно работают в канале с белым шумом, но плохо справляются с пакетами ошибок.

Преимущества разных способов кодирования можно объединить, применив *каскадное кодирование*. При этом информация сначала кодируется одним кодом, а затем другим, в результате получается код-произведение. Некоторые коды-произведения специально сконструированы для итеративного декодирования, при котором декодирование осуществляется в несколько проходов, каждый из которых использует информацию от предыдущего. Это позволяет добиться большой эффективности, однако, декодирование требует больших ресурсов. Эффективность кодов определяется количеством ошибок, которые тот может исправить, количеством избыточной информации, добавление которой требуется, а также сложностью реализации кодирования и декодирования.

При передаче информации по каналу связи вероятность ошибки зависит от отношения сигнал/шум на входе демодулятора, поэтому при постоянном уровне шума решающее значение имеет мощность передатчика. В системах спутниковой или мобильной связи остро стоит вопрос экономии энергии, а в телефонной связи неограниченно повышать мощность сигнала не дают технические ограничения. Поскольку помехоустойчивое кодирование позволяет исправлять ошибки, при его применении мощность передатчика можно снизить, оставляя скорость передачи информации неизменной. Энергетический выигрыш определяется как разница отношений сигнал/шум при наличии и отсутствии кодирования.

Коды, исправляющие ошибки, применяются: 1) в системах цифровой связи, в том числе: спутниковой, радиорелейной, сотовой, передаче данных по телефонным каналам. 2) в системах хранения информации, в том числе магнитных и оптических.

Коды, обнаруживающие ошибки, применяются в сетевых протоколах различных уровней.

Кодирование информации – процесс формирования определенного представления информации. В более узком смысле под термином «кодирование» понимают переход от одной формы представления информации к другой, более удобной для хранения, передачи или обработки.

В данной лекции мы рассмотрим особенности кодирования информации в компьютере и остановимся на особенностях кодирования текстовой, графической, звуковой и видео-информации.

Информация редко используется человеком в чистом виде, она всегда как-то представлена – формализована или закодирована. Одна и та же информация может быть представлена в разных формах, а одни и те же символы нести разную смысловую нагрузку.

Знак - это элемент конечного множества отличных друг от друга элементов

Знаки одного функционального назначения формируют язык.

Язык – знаковая система представления информации. Языки делятся на естественные (разговорные) и искусственные (формальные).

Не всякая информация может быть представлена с помощью знаков (запахи, вкусовые и осязательные ощущения). Такую информацию называют образной информацией. К образной информации относится также информация, воспринимаемая зрением и слухом: шум ветра, пение птиц, картины природы, живопись.

Кодирование – процесс преобразования сигналов или знаков одной знаковой системы в знаки другой знаковой системы, для использования, хранения, передачи или обработки.

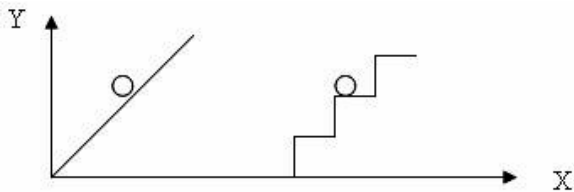
Процесс обратного восстановления информации из закодированного вида называется **декодированием**.

Код – набор символов, которому приписан некоторый смысл. Код является знаковой системой, которая содержит конечное число символов: буквы алфавита, цифры, знаки препинания, знаки математических операций и т.п.

Шифрование – код, значение и правила использования которого известно ограниченному кругу лиц.

1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Информация графическая и звуковая может быть представлена в аналоговой или дискретной форме. При аналоговом представлении информации физическая величина может принимать бесконечное множество значений. При дискретном представлении информации физическая величина может принимать конечное множество значений, при этом она изменяется скачкообразно. Примером аналогового и дискретного представления информации можно привести наклонную плоскость и лестницу. Положение тела на наклонной плоскости и на лестнице задается значениями координат X и Y . При движении тела по наклонной плоскости его координаты могут принимать бесконечное множество непрерывно изменяющихся значений из определенного диапазона, а при движении по лестнице – только конечный набор значений, изменяющихся скачкообразно.



Примером аналогового хранения звуковой информации является виниловая пластинка (звуковая дорожка изменяет свою форму непрерывно), а дискретного – аудио компакт-диск (звуковая дорожка которого содержит участки с различной отражающей способностью).

Преобразование графической и звуковой информации из аналоговой формы в дискретную производится путем дискретизации, т.е. разбиения непрерывного графического изображения или непрерывного (аналогового) звукового сигнала на отдельные элементы. В процессе дискретизации производится кодирование, т.е. присвоение каждому элементу конкретного значения в форме кода.

Дискретизация – это преобразование непрерывных изображений и звука в набор дискретных значений, каждому из которых присваивается значение кода.

В аналоговой форме звук представляет собой волну с непрерывно меняющейся амплитудой и частотой. При преобразовании звука в цифровую дискретную форму производится временная дискретизация, при которой в определенные моменты времени амплитуда звуковой волны измеряется и квантуется. Преобразование непрерывной звуковой волны в последовательность звуковых импульсов различной амплитуды производится с помощью аналого-цифрового преобразователя, размещенного на звуковой плате. Современные 16-битные звуковые карты обеспечивают возможность кодирования 65536 различных уровней громкости или 16-битную глубину кодирования звука. Качество кодирования звука зависит и от частоты дискретизации – количества измерений уровня сигнала в единицу времени. Эта величина может принимать значения от 8 кГц до 48 кГц.

С помощью специальных программных средств (редакторов звукозаписей) открываются широкие возможности по созданию, редактированию и прослушиванию звуковых файлов. Создаются программы распознавания речи и, в результате, появляется возможность управления компьютером с помощью голоса.

Числовая информация была первым видом информации, который начали обрабатывать ЭВМ, и долгое время она оставалась единственным видом. Поэтому не удивительно, что в современном компьютере существует большое разнообразие типов и представлений чисел. Прежде всего, это **целые и вещественные числа**, которые по своей сути и по представлению в машине различаются очень существенно. Целые числа, в свою очередь, делятся на числа со знаком и без знака, имеющие уже не столь существенные различия. Наконец, вещественные числа имеют два способа представления – с фиксированной и с плавающей запятой, правда, первый способ сейчас представляет в основном исторический интерес.

Существуют разные способы кодирования и декодирования информации в компьютере. Это зависит от вида информации: текст, число, графическое изображение или звук. Для числа также важно, как оно будет использовано: в тексте, или в вычислениях, или в процессе ввода-вывода. Вся информация кодируется в двоичной системе счисления: с помощью цифр 0 и 1. Эти два символа называют двоичными цифрами или битами. Такой способ кодирования технически просто организовать: 1 - есть электрический сигнал, 0 - нет сигнала. Недостаток двоичного кодирования - длинные коды. Но в технике легче иметь дело с большим числом простых однотипных элементов, чем с небольшим числом сложных.

Кодирование обычно проводят в несколько этапов: 1) Определение объёма информации, подлежащей кодированию; 2) Классификация и систематизация информации; 3) Выбор системы кодирования и разработка кодовых обозначений; 4) Непосредственно кодирование

Системы счисления

Для машинной обработки информации её необходимо представить в какой-либо системе счисления.

Система счисления – совокупность приёмов наименования и записи чисел с помощью цифр.

Символы (цифры) выбранные для представления чисел называются базисными.

Виды систем счисления: позиционные (значение цифры зависит от её позиции в изображении числа): двоичная, троичная,..., десятичная,..., шестнадцатеричная,..., шестидесятиричная и т.д.; непозиционные (значение цифры не зависит от места, занимаемого в изображении числа: единичная, римская, алфавитные).

Пример: римская система счисления:

V X L C D M
5 10 50 100 500 1000

XXVIII=10+10+5+1+1+1=28; XCIX= -10+100-1+10=99

Позиционная система: число x может быть представлено в системе с основанием p , как $x=a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p^1 + a_0 \cdot p^0$, где a_n, \dots, a_0 – цифры в представлении данного числа, в основание системы счисления.

Пример. $1035_{10} = 1 \cdot 10^3 + 0 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$

Двоичная система счисления: двоичный (цифровой) код, основанный на двоичной системе счисления, использующий для представления буквенно-цифровых и других символов наборы комбинаций цифр 1 и 0. В двоичной системе счисления всего две цифры, называемые двоичными. Название разряда двоичного числа – бит. Веса разрядов в двоичной системе изменяются по степеням двойки. Поскольку вес каждого разряда уменьшается либо на 0, либо на 1, то в результате значение числа определяется как сумма соответствующих значений степени двойки. $1010_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 10$.

Для представления информации в вычислительной технике преимущественное распространение получило двоичное кодирование. Преимущества двоичной системы: простота технической реализации (используются элементы с двумя возможными состояниями: есть ток – нет тока, намагничен – ненамагничен); надёжность и помехоустойчивость; возможность применения аппарата булевой алгебры для выполнения логических операций; простота правил двоичной арифметики (двоичные таблицы сложения и умножения предельно просты).

Виды информации	Двоичный код
Числовая	
Текстовая	
Графическая	
Звуковая	
Видео	

Арифметические действия, выполняемые в двоичной системе, подчиняются тем же правилам, что и в десятичной системе. Только в двоичной системе старший разряд возникает чаще, чем в десятичной. Вот как выглядит таблица сложения в двоичной системе:
 $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=0$ (перенос в старший разряд)

Таблица умножения для двоичных чисел ещё проще: $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 0$; $1 \cdot 0 = 0$; $1 \cdot 1 = 1$

Десятичная	Двоичная	Восьмеричная	Шестнадцатеричная
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
...
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
...
1000	1111101000	1750	3E8

Рассмотрим запись чисел в разных системах счисления. Двоичная (используются цифры 0, 1); восьмеричная (используются цифры 0, 1, ..., 7); шестнадцатеричная (для первых целых чисел от нуля до девяти используются цифры 0, 1, ..., 9, а для следующих чисел – от десяти до пятнадцати – в качестве цифр используются символы A, B, C, D, E, F).

Существуют два основных формата представления чисел в памяти компьютера: для кодирования целых чисел и для кодирования действительных чисел

$$A_q = \pm \sum a_i q^i$$

$A_q = \pm (a_{n-1}q^{n-1} + a_{n-2}q^{n-2} + \dots + a_0q^0 + a_{-1}q^{-1} + \dots + a_{-m}q^{-m})$ Здесь A – само число, q – основание системы счисления, a_i – цифры, принадлежащие алфавиту данной системы счисления, n – число целых разрядов числа, m – число дробных разрядов числа.

$M = a_{n-1}a_{n-2}a_{n-3} \dots a_3a_2a_1a_0$ – запись числа

$$a_{n-1}q^{n-1} + a_{n-2}q^{n-2} + \dots + a_1q^1 + a_0q^0 + a_{-1}q^{-1} + \dots + a_{-m}q^{-m},$$

где a_i – цифры системы счисления, n и m – число целых и дробных разрядов, соответственно.

Пример. $1011_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^0$;

$$276,52_8 = 2 \cdot 8^2 + 7 \cdot 8^1 + 6 \cdot 8^0 + 5 \cdot 8^{-1} + 2 \cdot 8^{-2};$$

$$M = 342 \quad q = 10 \quad M = 3 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0$$

$$q = 5 \quad M = 3 \cdot 5^2 + 4 \cdot 5^1 + 2 \cdot 5^0 \quad (97_{10})$$

$$q = 8 \quad M = 3 \cdot 8^2 + 4 \cdot 8^1 + 2 \cdot 8^0 \quad (226_{10})$$

Кодирование команд

Программа управления наряду с данными размещается в оперативной памяти компьютера и управляет её работой. Её команды, как и другие данные, кодируются последовательностью из единиц их принято называть машинными командами. Машинная команда содержит в себе следующую информацию: 1) какую операцию выполнить; 2) где находятся операнды; 3) куда поместить результат операции; 4) какую команду выполнять следующей.

Рассмотрим пример трёхадресной команды:

КОП (код операции)	A1 (адрес первого аргумента)	A2 (адрес второго аргумента)	A3 (адрес результата)
00000001	01000100	01001000	01001100

В компьютере команды, предназначенные для управления им и выполнения определённых действий, записываются в специальные файлы с расширением EXE (Executable file).

Представление текстовой информации

Присвоение символу конкретного кода – это вопрос соглашения, которое фиксируется в кодовой таблице. Для кодировки текстовой информации принят международный стандарт ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

[	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0		⊙	⊖	♥	♦	♣	♠	●		○						
1	▶	◀	!					↑	↓	→	←	↔	^	▼		
2		!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[\]	^	_
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	□
8	ç	ü	é	â	ä	à	å	ç	ê	ë	è	ï	î	ì	Ë	Ä
9	É	æ	Æ	ô	ö	ò	û	ù	ÿ	Ö	Ü	€	£	¥	¤	f
A		í	ó	ú	ñ	ñ	ª	º	¿	¬	½	¼	¿	«	»	
B																
C																
D																
E	α	β	Γ	π	Σ	σ	μ	τ	φ	θ	Ω	δ	∞	φ	ε	η
F	≡	±	≥	≤	|	|	÷	≈	°	·	·	√	²	²	■	□

Кодировка символов, предложенная IBM (соответствует ASCII - кодировке)

Пример. Слово **COMPUTER**, закодированное в кодах *ASCII* выглядит так:

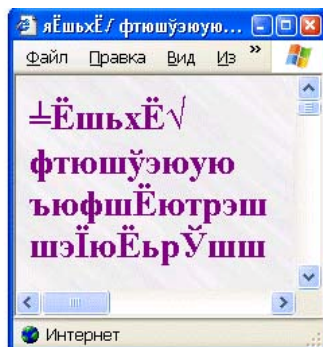
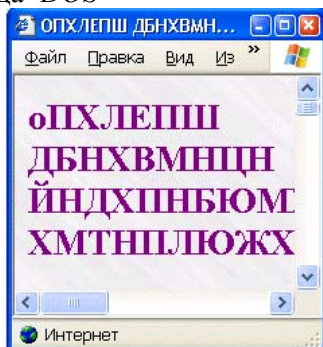
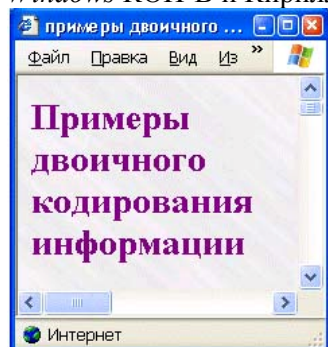
C O M P U T E R
067 079 077 080 085 084 069 082

А если учесть, что в двоичном представлении для кодирования каждого символа используется 8-ми разрядный код, то получится двоичный код длиной в 64 символа

1000001110011111001101101000010101101010010001011010010

Отсутствие согласованных стандартов привело к появлению различных кодовых таблиц для кодирования русскоязычных текстов: альтернативная кодовая таблица *СЗ-866*; международный стандарт *ISO 8859*; - кодовая таблица фирмы *Microsoft CP-1251* (кодировка *Windows*); кодовая таблица, применяемая в *ОС Unix KOI 8R*. Эти таблицы отличаются порядком размещения символов алфавита в кодовой таблице. Поэтому тексты, созданные в одной кодировке, могут не правильно отражаться в другой.

Пример. Кодировка текста с использованием кодовой таблицы Кириллица-*Windows*, декодировка по Кириллица-*Windows* КОИ-В и Кириллица- *DOS*



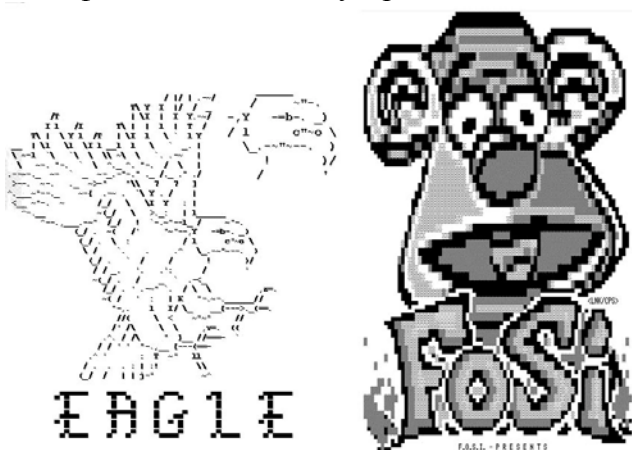
KOI8-R [КОИ – Код Обмена Информацией] – 8-разрядный код, ориентированный на обмен сообщениями в Интернет.

—	|	Г	г	Л	л	Т	т	Т	т	Т	т	■	■	■	■
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
▤	▥	▦	Г	■	●	√	≈	Σ	Σ	nbsp	Ј	◦	²	•	÷
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
=	||	F	ё	П	Ф	Э	п	Г	Г	Е	Ц	Ц	Ј	Ј	Т
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
Т	Т	Т	Ё	П	П	Т	П	Г	Г	Е	Ц	Ц	Ј	Ј	Т
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
Ю	А	Б	Ц	Д	Е	Ф	Г	Х	И	Й	К	Л	М	Н	О
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
П	Я	Р	С	Т	У	Ж	В	Ь	Ы	З	Ш	Э	Щ	Ч	Ъ
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
Ю	А	Б	Ц	Д	Е	Ф	Г	Х	И	Й	К	Л	М	Н	О
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
П	Я	Р	С	Т	У	Ж	В	Ь	Ы	З	Ш	Э	Щ	Ч	Ъ
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

Кодовая таблица Windows (CP-1251)

Á	à	,	è	„	...	†	‡	€	%	É	<	й	Й	ó	ú
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
á	‘	’	“	”	•	–	—	ё	™	é	>	ò	í	ó	ú
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
nbsp	û	Ы	Э	„	Ы	І	Š	Ё	©	Ю	«	¬	thy	©	Я
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
•	±	Ы	Э	’	µ	¶	•	ё	№	ю	»	э	ю	я	я
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

UNICODE – 16 – разрядная система кодирования (65536 символов) охватывает символы всех языков (включая языки, использующие иероглифы, например, китайский и японский). Ранее для вывода рисунков на алфавитно-печатных устройствах использовались символы псевдографики.



ЭВМ первых двух поколений могли обрабатывать только числовую информацию, полностью оправдывая свое название вычислительных машин. Лишь переход к третьему поколению принес изменения: к этому времени уже назрела настоятельная необходимость использования текстов.

С точки зрения компьютера текст состоит из отдельных символов. К числу символов принадлежат не только буквы (заглавные или строчные, латинские или русские), но и цифры, знаки препинания, спецсимволы типа "=", "(", "&" и т.п. и даже пробелы между словами: пустое место в тексте тоже должно иметь свое обозначение. При нажатии клавиши клавиатуры сигнал посылается в

компьютер в виде двоичного числа, которое хранится в кодовой таблице. Кодовая таблица - это внутреннее представление символов в компьютере. Например, буква S имеет код 01010011; при нажатии ее на клавиатуре происходит декодирование двоичного кода и по нему строится изображение символа на экране монитора. Каждый символ хранится в виде двоичного кода, который является номером символа. Можно сказать, что компьютер имеет собственный алфавит, где весь набор символов строго упорядочен.

Количество символов в алфавите также тесно связано с двоичным представлением и у всех ЭВМ равняется 256. Иными словами, каждый символ всегда кодируется 8 битами, т.е. занимает ровно один байт.

В компьютере хранится не начертание буквы, а её номер. Именно по этому номеру воспроизводится вид символа на экране дисплея или на бумаге. Поскольку алфавиты в различных типах ЭВМ не полностью совпадают, при переносе с одной модели на другую может произойти превращение разумного текста в «абракадабру». Такой эффект иногда получается даже на одной машине в различных программных средах: например, русский текст, набранный в *MS DOS*, нельзя без специального преобразования прочитать в Windows. Остается утешать себя тем, что задача перекодировки текста из одной кодовой таблицы в другую довольно проста и при наличии программ машина сама великолепно с ней справляется. Наиболее стабильное положение в алфавитах всех компьютеров занимают латинские буквы, цифры и некоторые специальные знаки. Это связано с существованием международного стандарта *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange* - Американский стандартный код для обмена информацией). Русские же буквы не стандартизированы и могут иметь различную кодировку.

Стандарт ASCII определяет первые 128 символов: цифры, буквы латинского алфавита, управляющие символы. Вторая половина кодовой таблицы не определена американским стандартом и предназначена для национальных символов, псевдографических и некоторых нематематических символов. В разных странах могут использоваться различные варианты второй половины кодовой таблицы. Цифры кодируются по этому стандарту при вводе-выводе и если они встречаются в тексте. Если они участвуют в вычислениях, то осуществляется их преобразование в другой двоичный код.

Нельзя также пройти мимо ещё одного интересного факта: каждый символ текста имеет свой числовой код, но не каждому коду соответствует отображаемый на экране символ. Речь идет о существовании так называемых управляющих, величина которых меньше шестнадцатиричного числа 20 (т.е. 32 в десятичной системе счисления). При получении этих кодов внешние устройства не изображают какого-либо символа, а выполняют те или иные управляющие действия. Так, код 07 вызывает подачу стандартного звукового сигнала, а код 0C - очистку экрана. Особую роль играют коды 0A (перевод строки, обозначаемый часто LF) и 0D (возврат каретки - CR). Первый вызывает перемещение в следующую строку без изменения позиции, а второй - на начало текущей строки. Таким образом, для перехода на начало новой строки требуются оба кода и в любом тексте эта «неразлучная пара» кодов хранится после каждой строки.

Названия возврат каретки и перевод строки имеют историческое происхождение и связаны с устройством пишущей машинки.

1.2 Кодирование чисел



В двоичной системе счисления для представления используются две цифры 0 и 1. Сравните: в десятичной системе счисления $435,6710 = 4 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 + 6 \cdot 10^{-1} + 7 \cdot 10^{-2}$ в десятичной системе счисления $10110,1012 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3}$. Действия с числами в двоичной системе счисления изучает наука двоичная арифметика. Все основные законы арифметических действий для таких чисел также выполняются. Для сравнения рассмотрим два варианта кодирования для числа 45. При использовании числа в тексте каждая цифра кодируется 8 битами в соответствии с ASCII (т.е. потребуется 2 байта): 4 - 01000011, 5 - 01010011. При использовании в вычислениях код этого числа получается по специальным правилам перевода из десятичной системы счисления в двоичную в виде 8-разрядного двоичного числа: $45_{10} = 00101101_2$, что потребует 1 байт.

1.3 Представление графической информации

Кодирование изображений

Под компьютерной (машинной) графикой понимается совокупность методов и приёмов преобразования при помощи компьютера данных в графическое представление.

Изображения могут быть: штриховые или полутоновые, чёрно-белые или цветные.

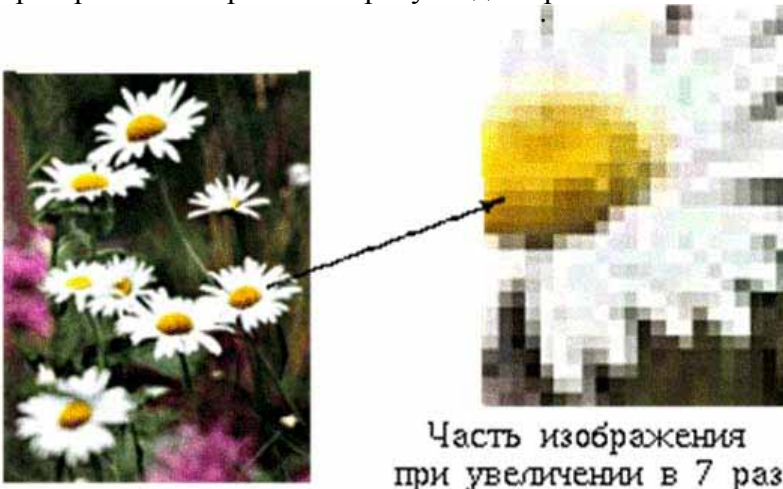
Различают три вида компьютерной графики:

- растровая графика
- векторная графика
- фрактальная графика



1.3.1 Растровое представление

Растровая графика является универсальным способом кодирования как полутоновых так и штриховых изображений. Растровая графика – способ кодирования изображения, при котором оно представляется в виде матрицы элементов (bitmap). Элементы матрицы называются пиксель (pixels) – сокращение от picture elements. Компьютер запоминает цвета всех пикселей подряд в определённом порядке. Поэтому растровые изображения требуют для хранения большой объём памяти.



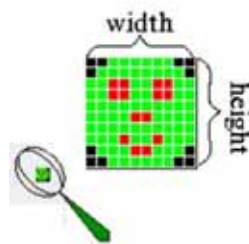
Хранение и воссоздание растрового изображения

Коэффициент прямоугольности = 10 10 пиксел

Первые десять

Вторые десять

Биты=

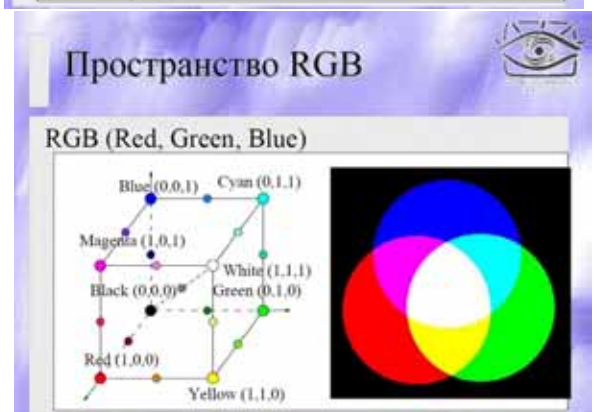
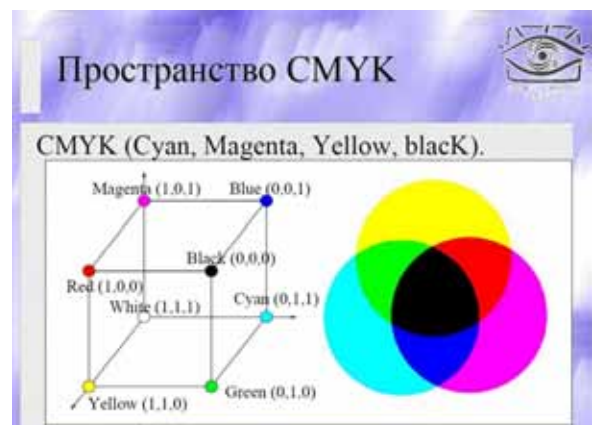


Более эффективный способ состоит в том, чтобы сохранять не каждый пиксел, а только их количество в каждой строке.

Цвет

В компьютерной графике существуют два противоположных метода его описания: системы аддитивных и субтрактивных цветов.

Аддитивный цвет получается при соединении лучей света различных цветов. В этой системе используются три основных цвета: красный (red), зелёный (green) и синий (blue), (RGB). Смешивая их в разных пропорциях можно получить любой цвет. В системе субтрактивных цветов происходит обратный процесс: цвет получается, вычитая другие цвета из общего луча света. В системе субтрактивных цветов основными являются голубой (cyan), пурпурный (magenta) и жёлтый (yellow) цвета, (CMY) противоположны красному, зелёному и синему.



Глубина цвета

Кроме размера изображения, важной характеристикой является количество цветов, закодированных в файле. Цвет каждого пиксела кодируется определённым числом бит, эта характеристика называется глубиной цвета. Если для кодировки отвести лишь один бит, то каждый пиксел может быть либо белым (значение 1), либо чёрным (значение 0). Такое изображение называют монохромным (*monochrome*). 8-бит – 256 различных цветов или серого цвета (полутоновое). 16-бит – 65536 различных цветов (*high color*). 24 бита – 16777216 различных цветов и оттенков (*True Color*).

Достоинства растровой графики

Растровые изображения выглядят вполне реалистично. Это связано со свойствами человеческого глаза: он приспособлен для восприятия реального мира как огромного набора дискретных элементов, образующих предметы. Легко управлять выводом изображения на устройства, представляющие изображения в виде совокупности точек: принтеры, фотонаборные автоматы.

Недостатки растровой графики

Большой объём памяти, требуемый для хранения изображения хорошего качества. Трудности редактирования изображений. Так как сами изображения занимают много памяти компьютера, то, очевидно, и для их редактирования потребуется также много памяти. Кроме того, применение фильтров специальных эффектов к таким изображениям может занять от нескольких минут до часа в зависимости от используемого оборудования.

В отличие от растровой графики, в векторной графике изображения строятся с помощью математических описаний объектов (геометрических фигур или линий, кроме того оно обычно многослойно). Каждый элемент векторного изображения является объектом, который описывается с помощью специального языка (математические уравнения линий, дуг, окружностей и т.д.) и располагается в своём собственном слое.

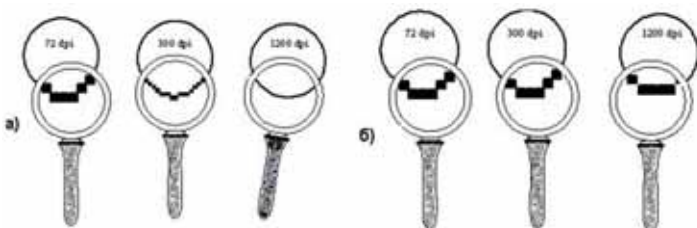
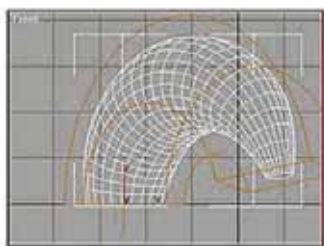
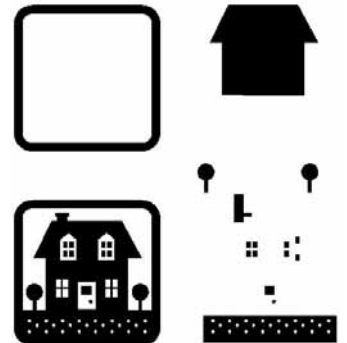
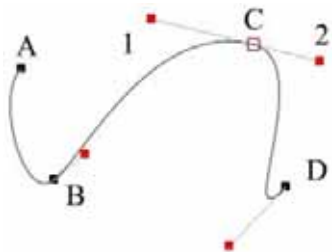
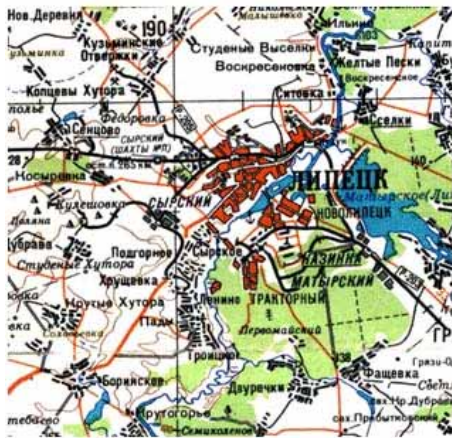
Все объекты имеют атрибуты (свойства). К этим свойствам относятся: форма линии, её толщина, цвет, характер линии (сплошная, пунктирная и т.п.). Объекты могут группироваться в слои с общими характеристиками. Количество цветов, в отличие от растровой графики, на размер файла практически не влияет. Файлы векторной графики способны содержать растровые изображения в качестве одного из типов объектов.

Пример использования векторных примитивов.

В основе векторной графики лежат математические представления о свойствах геометрических фигур. Основные графические примитивы: точка (задаётся двумя числами (x, y)), прямая линия (описывается уравнением $y=kx+b$), отрезок прямой (координаты начала и конца отрезка), кривая второго порядка ($x^2+a_1y^2+a_2xy+a_3x+a_4y+a_5=0$), кривая третьего порядка, кривые Безье.

Достоинства векторной графики.

Объекты векторного изображения в отличие от растровой графики, могут изменять свои размеры без потери качества (при увеличении растрового изображения увеличивается зернистость).



Печать окружности на принтерах с различным разрешением:
а) векторная, б) растровая.

Она использует все преимущества разрешающей способности любого устройства вывода, что позволяет изменять размеры векторного рисунка без потерь его качества. Векторные команды просто сообщают устройству вывода, что необходимо нарисовать объект заданного размера, используя столько точек, сколько возможно.

Векторная графика позволяет редактировать отдельные части рисунка, не оказывая влияния на остальные (в растровых изображениях пришлось бы редактировать каждый пиксел).



Векторные изображения, не содержащие растровых объектов. Занимают в памяти компьютера относительно небольшое место (в 10 – 1000 раз меньше, чем его растровый аналог).



Векторные изображения позволяют описывать трёхмерные (объёмные) фигуры.

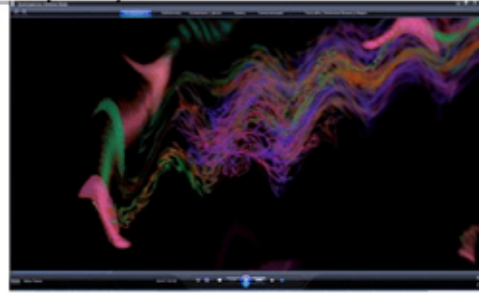
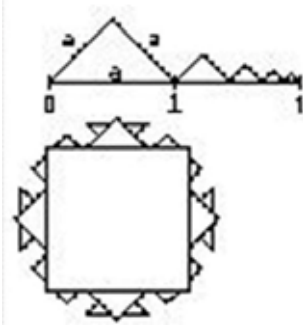
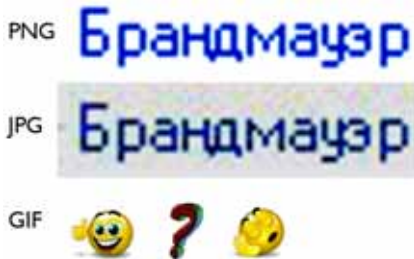
Недостатки векторной графики: Рисунки часто выглядят достаточно искусственно, так как основным компонентом векторного рисунка является прямая линия, а она в природе встречается редко. Возможны проблемы печати, как правило, сложных рисунков на отдельных типах принтеров из-за того, что не все команды могут ими правильно интерпретироваться.

Примеры описания векторных изображений

Version 300
Charset "WindowsCyrillic"
Delimiter ","
CoordSys Earth Projection 1, 0
Columns 1
поля Char(10)
Data
Region 1
6
39.029901 51.114601
39.029886 51.114554
39.029961 51.114527
39.03036 51.11431
39.033909 51.112537
Pen (2,2,0)
Brush (53,8245248)
Center 39.038972 51.115592

OziExplorer Track Point File Version 2.1
WGS 84
Altitude is in Feet
Reserved 3
0,1,0,Track 0001,1,10,0, 53373
3572
51.114601,39.029901,1,0,,
51.114554,39.029886,0,0,,
51.114527,39.029961,0,0,,
51.11431,39.03036,0,0,,
51.112537,39.033909,0,0,,
51.111805,39.035381,0,0,,
51.111778,39.035543,0,0,,
51.111778,39.035723,0,0,,
51.11179,39.035932,0,0,,
51.112336,39.038805,0,0,,
51.112598,39.040064,0,0,,

Фрактальная графика, как и векторная – вычисляемая, но отличается от неё тем, что никакие объекты в памяти компьютера не хранятся. Изображение строится по уравнению (или по системе уравнений), поэтому ничего, кроме формулы, хранить не надо. Изменив коэффициенты в уравнении, можно получить совершенно другую картину.



Форматы графических файлов.

Windows BitMap (.BMP) формат файлов растровых рисунков, разработанный Microsoft. Главным достоинством является его простота и, как следствие, поддержка всеми без исключения программами, работающими с графикой. Хранит информацию о каждой точке без использования алгоритмов сжатия

Graphics Interchange Format (.GIF) формат файлов разработанный ComuServe Inc. Чаще всего применяется для размещения рисунков в интернете. К достоинствам формата можно отнести возможность создания рисунков с прозрачным фоном (*transparency*) и анимацией. Предусмотрен метод сжатия без потерь *LZW*.

Portable Network Graphics (.PNG) использует метод сжатия без потерь *LZW*, позволяющий достичь высокой степени сжатия (не хуже *GIF*). Примерно в два раза компактнее *BMP*. Имеет возможность черзстрочного вывода для быстрой черновой прорисовки изображения.

Joint Photographic Experts JPEG (.JPG) позволяет добиться наивысшей степени сжатия и минимальный размер выходного файла. Использует сжатие с потерей информации и предназначен для хранения, в основном, фотографических изображений с большим количеством оттенков и цветовых переходов. Не подходит для хранения однотонных и штриховых изображений. Сжатие и соответственно потеря качества происходит при каждом сохранении изображения, поэтому рекомендуется использовать как формат хранения. Используется в большинстве мультимедийных устройств.

TIFF (.TIF) позволяет сохранять изображения любой глубины цвета с использованием как модели *RGB*, так и *CMYK*. Поддерживается несколько алгоритмов сжатия, как с потерей, так и без потери качества.

В отличие от текстового представления информации, когда минимальной единицей является символ, при отображении графики картинка строится из отдельных элементов - пикселей (*PICTure ELement* – «элемент картинки»). Часто пиксел совпадает с точкой дисплея, но это не обязательно: например, в некоторых видеорежимах 1 пиксел может состоять из 2 или 4 точек экрана. Каждый пиксел характеризуется цветом. Как и вся остальная информация в ЭВМ, цвет кодируется числом. В зависимости от количества допустимых цветов, число двоичных разрядов на один пиксел будет различным. Так, для чёрно-белой картинки закодировать цвет точки можно одним битом: 0 - чёрный, 1 - белый. Для случая 16 цветов требуется уже по 4 разряда на каждую точку, а для 256 цветов - 8, т.е. 1 байт.

Растр - прямоугольная сетка пикселей на экране.

Число цветов, воспроизводимых на экране дисплея (*K*), и число бит, отводимых в видеопамяти под каждый пиксель (*N*), связаны формулой:

$$K = 2^N.$$

Для того, чтобы наглядно представить себе, как хранится в памяти компьютера простейшее изображение, рассмотрим для примера белый квадратик на черном фоне размером 4x4. В черно-белом режиме это будет выглядеть наиболее компактно (сначала для наглядности приведен двоичный, а затем шестнадцатиричный вид):

1	1	1	1	F
1	0	0	1	9
1	0	0	1	9
1	1	1	1	F

1111	1111	1111	1111	FFFF
1111	0000	0000	1111	F00F
1111	0000	0000	1111	F00F
1111	1111	1111	1111	FFFF

В режиме 16-цветной графики это же самое изображение потребует памяти в 4 раза больше.

Наконец, при 256 цветах на каждую точку требуется уже по байту и наш квадратик разрастется еще вдвое.

Белый цвет, как самый яркий, обычно имеет максимально возможный номер. Поэтому для чёрно-белого режима он равен 1, для 16-цветного - 15, а для 256 цветов - 255. Все многообразие красок на экране

получается путем смешивания трёх базовых цветов: **красного**, **синего** и **зелёного**. Каждый пиксель на экране состоит из трёх близко расположенных элементов, святающихся этими цветами. Цветные дисплеи, использующие такой принцип, называются *RGB (Red - Green - Blue)* - мониторами.

Код цвета пикселя содержит информацию о доле каждого базового цвета.

Если все три составляющие имеют одинаковую интенсивность (яркость), то из их сочетаний можно получить 8 различных цветов (2^3). Шестнадцатичетная палитра получается при использовании 4 - разрядной кодировки пикселя: к трем битам базовых цветов добавляется один бит интенсивности. Этот бит управляет яркостью всех трех цветов одновременно.

Пример. Если в 8 - цветовой палитре код 100 обозначает красный цвет, то в 16 - цветной палитре: 0100 - красный, 1100 - ярко - красный цвет; 0110 - коричневый, 1110 - ярко коричневый (желтый).

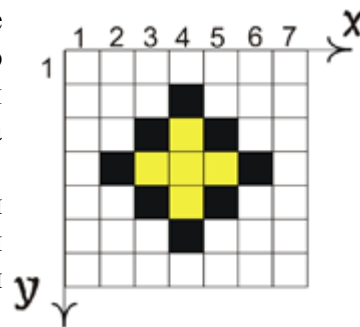
Большее количество цветов получается при раздельном управлении интенсивностью базовых цветов. Причем интенсивность может иметь более двух уровней, если для кодирования каждого из базовых цветов выделять больше одного бита. При использовании битовой глубины 8 бит / пиксель количество цветов: $2^8 = 256$. Биты такого кода распределены следующим образом: KKK333CC. Это значит, что под красную и зелёную компоненты выделено по 3 бита, под синюю - 2 бита. Следовательно, красная и зелёная компоненты имеют по $2^8 = 256$ уровней яркости, а синяя - 4 уровня.

1.3.2 Векторное представление

При векторном подходе изображение рассматривается как совокупность простых элементов: прямых линий, дуг, окружностей, эллипсов, прямоугольников, закрасок и пр., которые называются графическими примитивами. Графическая информация - это данные, однозначно определяющие все графические примитивы, составляющие рисунок.

Положение и форма графических примитивов задаются в системе графических координат, связанных с экраном. Обычно начало координат расположено в верхнем левом углу экрана. Сетка пикселей совпадает с координатной сеткой. Горизонтальная ось *X* направлена слева направо; вертикальная ось *Y* - сверху вниз.

Отрезок прямой линии однозначно определяется указанием координат его концов; окружность - координатами центра и радиусом; многоугольник - координатами его углов, закрашенная область - линией и цветом закраски.



Векторное изображение представляет собой графический объект, состоящий из элементарных отрезков и дуг. Положение этих элементарных объектов определяется координатами точек и длиной радиуса. Для каждой линии указывается ее тип (сплошная, пунктирная, штрих-пунктирная), толщина и цвет. Информация о векторном изображении кодируется как обычная буквенно-цифровая и обрабатывается специальными программами. Таким образом, графическая информация, также как числовая и текстовая, в конечном счёте, заносится в память в виде двоичных чисел.

1.3 Представление звуковой информации

Кодирование звука и форматы звуковых файлов

WAVE (.wav) – наиболее широко распространённый звуковой формат, но не обеспечивает достаточно хорошего сжатия.

MPEG-3 (.mp3) Используя для оцифровки музыкальных записей. При кодировании применяется психоакустическая компрессия, при которой из мелодии удаляются звуки, плохо воспринимаемые человеческим ухом.

RealAudio (.ra, .ram) – формат, разработанный для воспроизведения звука в Интернет в реальном времени. Получающееся качество в лучшем случае соответствует посредственной аудиокассете.

MIDI (.mid) – цифровой интерфейс музыкальных инструментов (*Musical Instrument Digital Interface*). Интерфейс *MIDI* представляет собой протокол передачи музыкальных нот и мелодий. Т.е. в файле хранятся описания высоты и длительности звучания музыкальных инструментов. *MIDI* – файлы занимают меньший объём (единица звукового звучания в секунду), чем эквивалентные файлы оцифрованного звука.

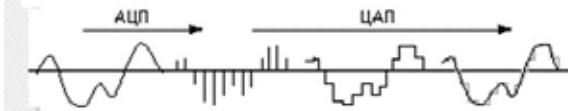
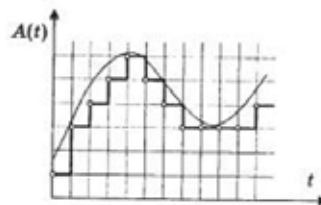
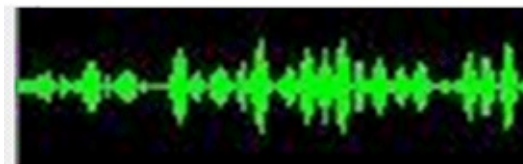
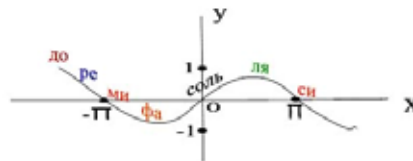
Из курса физики известно, что звук есть колебания среды. Чаще всего средой является воздух, но это совсем не обязательно. Например, звук прекрасно распространяется по поверхности земли: именно поэтому в приключенческих фильмах герои, стараясь услышать шум погони, прикладывают ухо к земле. Напротив, существует весьма эффектный школьный физический опыт, который показывает, что при откачивании

воздуха мы перестаем слышать звук находящегося под герметичным колпаком звонка. Важно также подчеркнуть, что существует определенный диапазон частот, к которому принадлежат звуковые волны: примерно от нескольких десятков герц до величины немного более 20 кГц. Значения этих границ определяются возможностями человеческого слуха. Из курса физики известно, что звук есть колебания среды. Чаще всего средой является воздух, но это совсем не обязательно. Например, звук прекрасно распространяется по поверхности земли: именно поэтому в приключенческих фильмах герои, стараясь услышать шум погони, прикладывают ухо к земле. Напротив, существует весьма эффектный школьный физический опыт, который показывает, что при откачивании воздуха мы перестаем слышать звук находящегося под герметичным колпаком звонка. Важно также подчеркнуть, что существует определенный диапазон частот, к которому принадлежат звуковые волны: примерно от нескольких десятков герц до величины немного более 20 кГц. Значения этих границ определяются возможностями человеческого слуха.



**Метод таблично-
волнового (Wave-
Table) синтеза**

**Метод FM (Frequency
Modulation)**



Благодаря роли звуковых сигналов в практической жизни человека, процессы генерации и закономерности распространения звука изучены достаточно хорошо. Чаще всего звуковые колебания преобразуются в электрические, что легко осуществляется с помощью микрофона. Как правило, электрический сигнал от микрофона очень слаб и нуждается в усилении, что на современном уровне развития техники проблемы также не представляет. Форму полученных колебаний (т.е. зависимость интенсивности сигнала от времени) можно наблюдать на экране обычного осциллографа; к сожалению, для получения наглядной устойчивой картины сигнал должен быть периодическим.

Важную роль в анализе звуковых (или полученных из них электрических) колебаний играет также спектральный анализ, т.е. нахождение распределения интенсивности различных частот в исходном сигнале. Математической основой такой процедуры служит разложение изучаемой функции в ряд по гармоническим функциям (синусам или косинусам) – так называемый Фурье-анализ. Полученные в результате обработки спектры также обычно представляются графически в координатах частота (абсцисса) – интенсивность (ордината). Чтобы представить себе, как выглядит спектр звукового сигнала, достаточно взглянуть на информационный дисплей современного высококачественного аудиокomплекса.

Звуковые сигналы в окружающем нас мире необычайно разнообразны. Для их записи с целью последующего воспроизведения необходимо как можно точнее сохранить форму кривой зависимости

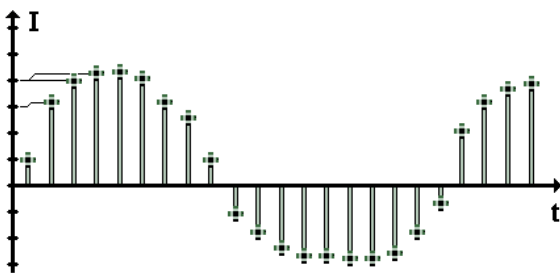
интенсивности звука от времени. При этом возникает одна очень важная и принципиальная трудность: звуковой сигнал непрерывен, а компьютер способен хранить в памяти только дискретные величины. Отсюда следует, что в процессе сохранения звуковой информации она должна быть «оцифрована», т.е. из аналоговой непрерывной формы переведена в цифровую дискретную. Данную функцию выполняет специальный блок, входящий в состав звуковой карты, который называется аналого-цифровой преобразователь – АЦП.

Каковы основные принципы работы АЦП?

Во-первых, он производит дискретизацию записываемого звукового сигнала по времени. Это означает, что измерение уровня интенсивности звука ведется не непрерывно, а, напротив, в определенные фиксированные моменты времени (удобнее, разумеется, через равные временные промежутки). Частоту, характеризующую периодичность измерения звукового сигнала принято называть частотой дискретизации. Вопрос о ее выборе далеко не праздный и ответ в значительной степени зависит от спектра сохраняемого сигнала: существует специальная теорема Найквиста, согласно которой частота "оцифровки" звука должна как минимум в 2 раза превышать максимальную частоту, входящую в состав спектра сигнала.

Считается, что редкий человек слышит звук частотой более 20000 Гц (20 кГц). Поэтому для высококачественного воспроизведения звука верхнюю границу обычно с некоторым запасом принимают равной 22 кГц. Отсюда немедленно следует, что частота звукозаписи в таких случаях должна быть не ниже 44 кГц. Названная частота используется, в частности, при записи музыкальных компакт-дисков. Однако часто такое высокое качество не требуется, и частоту дискретизации можно значительно снизить. Например, при записи речи вполне достаточно частоты дискретизации 8 кГц. Заметим, что результат при этом получается хотя и не блестящий, но легко разборчивый – вспомните, как вы слышите голоса своих друзей по телефону.

Во-вторых, АЦП производит дискретизацию амплитуды звукового сигнала. При измерении имеется «сетка» стандартных уровней (например, 256 или 65 536 – это количество характеризует глубину кодирования), и текущий уровень измеряемого сигнала округляется до ближайшего из них. Напрашивается линейная зависимость между величиной входного сигнала и номером уровня. Иными словами, если громкость возрастает в 2 раза, то интуитивно ожидается, что и соответствующее ему число возрастёт вдвое. В простейших случаях так и делается, но, как показывает более детальное изучение, это не самое лучшее решение. Проблема в том, что в широком диапазоне громкости звука человеческое ухо не является линейным. Например, при очень громких звуках, увеличение или уменьшение интенсивности звука почти не даёт эффекта, в то время как при восприятии шепота очень незначительное падение уровня может приводить к полной потере разборчивости. Поэтому при записи цифрового звука, особенно при 8 - битном кодировании, часто используют различные неравномерные распределения уровней громкости, в основе которых лежит логарифмический закон.



Итак, в ходе оцифровки звука мы получаем поток целых чисел, представляющих собой стандартные амплитуды сигналов через равные промежутки времени.

На рисунке представлен процесс «оцифровки» зависимости интенсивности звукового сигнала I от времени t . Видна дискретизация по времени (равномерные отсчеты на горизонтальной оси) и по интенсивности сигнала (требуемое при этом округление схематически изображено «изломами» горизонтальных линий разметки). На рисунке степень

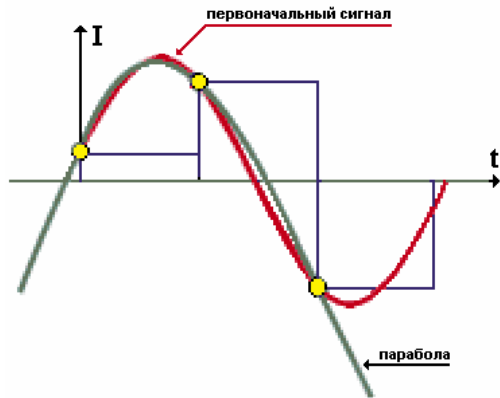
дискретизации для наглядности сознательно утрирована: реально различие между соседними уровнями дискретизации по обеим осям значительно меньше и, следовательно, форма сигнала передается гораздо точнее.

Изложенный метод преобразования звуковой информации для хранения в памяти компьютера в очередной раз подтверждает уже неоднократно обсуждавшийся ранее тезис: любая информация для хранения в компьютере приводится к цифровой форме и затем переводится в двоичную систему.

Остается рассмотреть обратный процесс – воспроизведение записанного в компьютерный файл звука. Здесь имеет место преобразование в противоположном направлении – из дискретной цифровой формы представления сигнала в непрерывную аналоговую, поэтому вполне естественно соответствующий узел компьютерного устройства называется ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь. Процесс реконструкции первоначального аналогового сигнала по имеющимся дискретным данным нетривиален, поскольку никакой информации о форме сигнала между соседними отсчетами не сохранилось. В разных звуковых картах для восстановления звукового сигнала могут использоваться различные способы.

Наиболее наглядный и понятный из них состоит в том, что по имеющимся точкам рассчитывается степенная функция, проходящая через заданные точки, которая и принимается в качестве формы аналогового сигнала. Чтобы понять, как это делается, возьмем, например, интерполяцию параболой $I = at^2 + bt + c$ по трем заданным точкам. Подставив в эту формулу известные значения времени и приравняв их к сохраненным в файле значениям интенсивности звука I , получим три линейных уравнения с тремя неизвестными a , b и c .

Качественный вид результата представлен на рисунке:



Видно, что на интерполируемом участке даже для параболы совпадение получается вполне удовлетворительное. Кроме того, технические возможности современных микросхем позволяют значительно увеличить степень полинома (многочлена), а вместе с ней и точность реконструкции формы сигнала.

Звуковая информация может быть представлена последовательностью элементарных звуков (фоном) и пауз между ними. Каждый звук кодируется и хранится в памяти. Вывод звуков из компьютера осуществляется синтезатором речи, который считывает из памяти хранящийся код звука. Гораздо сложнее преобразовать речь человека в код, т.к. живая речь имеет большое разнообразие оттенков.

Каждое произнесенное слово должно сравнивать с предварительно занесенным в память компьютера эталоном, и при их совпадении происходит его распознавание и запись.

Кодирование видеoinформации

Аналоговое видео является самым ранним методом передачи видеосигнала. Композитное аналоговое видео комбинирует всё видео компоненты (яркость, цвет, синхронизацию и т.д. в один сигнал. Из-за объединения этих элементов в одном сигнале качество композитного видео далеко от совершенства. Цифровое видео — изображение или серия изображений, информация в которых хранится в цифровом виде. Оно использует цифровые сигналы и стандарты, отличные от международных стандартов для телевидения и вывода изображений на экран, используемых в аналоговом видео.

Форматы сохранения видеoinформации

Digital Video (.DV) — формат, разработанный для цифровых видеокамер и видеомэгнитофонов. Сигнал компонентный, метод сжатия *MJPEG* с коэффициентом 5,1.

CD AVI (Audio Video Interleave) — чередование аудио и видео — позволяет одновременно хранить изображение и звук. При записи в этом формате используются несколько различных форматов сжатия (компрессии) видеоизображения: *Microsoft Video 1* (8 и 16-битный цвет), *Motion JPEG*, *Microsoft RLE* (8-битный цвет), *Indeo* и т.д.

MPEG (Motion JPEG) (.mpg, .mpeg, .dat) — формат для записи и воспроизведения видео, разработанный группой экспертов по движущимся изображениям (*MPEG — Moving Picture Expert Group*). Имеет собственный алгоритм компрессии, основанный на кодировании изменений ключевых кадров. Среди производных форматов известен *MPEG-2*, *MPEG-4*

Quick Time Movie (.qt, .mov) — наиболее распространённый формат для записи и воспроизведения потокового видео, разработанный фирмой *Adobe* в рамках технологии *Quick Time*. Поддерживает несколько различных форматов сжатия видео, в том числе *MPEG* и *Indeo*, а также свой собственный метод компрессии.

2. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРЕ

Современный компьютер может обрабатывать числовую, текстовую, графическую, звуковую и видео информацию. Все эти виды информации в компьютере представлены в двоичном коде, т. е. используется алфавит мощностью два (всего два символа 0 и 1). Связано это с тем, что удобно представлять информацию в виде последовательности электрических импульсов: импульс отсутствует (0), импульс есть (1). Такое кодирование принято называть двоичным, а сами логические последовательности нулей и единиц —

языком.

Вид информации	Двоичный код
Числовая	10110011
Текстовая	
Графическая	
Звуковая	

Каждая цифра машинного двоичного кода несет количество информации равное одному биту. Данный вывод можно сделать, рассматривая цифры машинного алфавита, как равновероятные события. При записи двоичной цифры можно реализовать выбор только одного из двух возможных состояний, а, значит, она несет количество информации равное 1 бит. Следовательно, две цифры несут информацию 2 бита, четыре разряда -- 4 бита и т. д. Чтобы определить количество информации в битах, достаточно определить количество цифр в двоичном машинном коде.

2.1 Представление данных в памяти компьютера

Для представления информации в памяти компьютера (как числовой, так и не числовой) используется двоичный способ кодирования.

Элементарная ячейка памяти компьютера имеет длину 8 бит (байт). Каждый байт имеет свой номер (его называют **адресом**). Наибольшую последовательность бит, которую компьютер может обрабатывать как единое целое, называют **машинным словом**. Длина машинного слова зависит от разрядности процессора и может быть равной 16, 32 битам и т. д. Для кодирования символов достаточно одного байта. При этом можно представить 256 символов (с десятичными кодами от 0 до 255). Набор символов персональных ЭВМ IBM PC чаще всего является расширением кода *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange* - стандартный американский код для обмена информацией). В некоторых случаях при представлении в памяти компьютера чисел используется смешанная двоично-десятичная «система счисления», где для хранения каждого десятичного знака нужен полубайт (4 бита) и десятичные цифры от 0 до 9 представляются соответствующими двоичными числами от 0000 до 1001. Например, упакованный десятичный формат, предназначенный для хранения целых чисел с 18-ю значащими цифрами и занимающий в памяти 10 байт (старший из которых знаковый), использует именно этот вариант.

Другой способ представления целых чисел - **дополнительный код**. Диапазон значений величин зависит от количества бит памяти, отведенных для их хранения. Например, величины типа *Integer* (все названия типов данных здесь и ниже представлены в том виде, в каком они приняты в языке программирования *Turbo Pascal*. В других языках такие типы данных тоже есть, но могут иметь другие названия) лежат в диапазоне от -2^{15} до $2^{15}-1$ и для их хранения отводится 2 байта; типа *LongInt* - в диапазоне от -2^{31} до $2^{31}-1$ и размещаются в 4 байтах; типа *Word* - в диапазоне от 0 до $2^{16}-1$ (используется 2 байта) и т. д. Как видно из примеров, данные могут быть интерпретированы как числа со знаками, так и без знаков. В случае представления величины со знаком самый левый (старший) разряд указывает на положительное число, если содержит нуль, и на отрицательное, если - единицу.

Вообще, разряды нумеруются справа налево, начиная с 0. Ниже показана нумерация бит в двухбайтовом машинном слове.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Дополнительный код положительного числа совпадает с его **прямым кодом**. Прямой код целого числа может быть получен следующим образом: число переводится в двоичную систему счисления, а затем его двоичную запись слева дополняют таким количеством незначащих нулей, сколько требует тип данных, к которому принадлежит число. Например, если число $37_{(10)}=100101_{(2)}$ объявлено величиной типа *Integer*, то его прямым кодом будет 0000000000100101, а если величиной типа *LongInt*, то его прямой код будет 00000000000000000000000000000000100101. Для более компактной записи чаще используют шестнадцатеричный код. Полученные коды можно переписать соответственно как $0025_{(16)}$ и $00000025_{(16)}$.

Дополнительный код целого отрицательного числа может быть получен по следующему алгоритму:

- 1) записать прямой код модуля числа;
- 2) инвертировать его (заменить единицы нулями, нули — единицами);
- 3) прибавить к инверсному коду единицу.

Например, запишем дополнительный код числа (-37) , интерпретируя его как величину типа *LongInt*:

- 1) прямой код числа 37 есть 00000000000000000000000000000000100101;
- 2) инверсный код 11111111111111111111111111111111011010;
- 3) дополнительный код 11111111111111111111111111111111011011 или $\text{FFFFFFDB}_{(16)}$.

При получении числа по его дополнительному коду прежде всего необходимо определить его знак. Если число окажется положительным, то просто перевести его код в десятичную систему счисления. В случае отрицательного числа необходимо выполнить следующий алгоритм:

- 1) вычесть из кода числа 1;

- 2) инвертировать код;
- 3) перевести в десятичную систему счисления. Полученное число записать со знаком минус.

Примеры. Запишем числа, соответствующие дополнительным кодам:

а) 0000000000010111. Поскольку в старшем разряде записан нуль, то результат будет положительным. Это код числа 23.

б) 111111111000000. Здесь записан код отрицательного числа. Исполняем алгоритм:

1) 111111111000000₍₂₎-1₍₂₎=111111110111111₍₂₎; 2) 0000000001000000; 3) 1000000₍₂₎=64₍₁₀₎.

Ответ: -64.

Несколько иной способ применяется для представления в памяти персонального компьютера действительных чисел. Рассмотрим представление величин *с плавающей точкой*.

Любое действительное число можно записать в стандартном виде $M \cdot 10^p$, где $1 \leq M < 10$, p — целое. Например, $120100000 = 1,201 \cdot 10^8$. Поскольку каждая позиция десятичного числа отличается от соседней на степень числа 10, умножение на 10 эквивалентно сдвигу десятичной запятой на одну позицию вправо. Аналогично деление на 10 сдвигает десятичную запятую на позицию влево. Поэтому приведенный выше пример можно продолжить: $120100000 = 1,201 \cdot 10^8 = 0,1201 \cdot 10^9 = 12,01 \cdot 10^7 \dots$ Десятичная запятая «плавает» в числе и больше не помечает абсолютное место между целой и дробной частями.

В приведенной выше записи M называют *мантиссой* числа, а p — его *порядком*. Для того чтобы сохранить максимальную точность, вычислительные машины почти всегда хранят мантиссу в нормализованном виде, что означает, что мантисса в данном случае есть число, лежащее между $1_{(10)}$ и $2_{(10)}$ ($1 \leq M < 2$). Основание системы счисления здесь, как уже отмечалось выше, — число 2. Способ хранения мантиссы с плавающей точкой подразумевает, что двоичная запятая находится на фиксированном месте. Фактически подразумевается, что двоичная запятая следует после первой двоичной цифры, т.е. нормализация мантиссы делает единичным первый бит, помещая тем самым значение между единицей и двойкой. Место, отводимое для числа с плавающей точкой, делится на два поля. Одно поле содержит знак и значение мантиссы, а другое содержит знак и значение порядка.

Персональный компьютер *IBM PC* с математическим сопроцессором позволяет работать со следующими действительными типами (диапазон значений указан по абсолютной величине):

Тип	Диапазон	Мантисса	Байты
Real	$2,9 \cdot 10^{-39} \dots 1,7 \cdot 10^{38}$	11–12	6
Single	$1,5 \cdot 10^{-45} \dots 3,4 \cdot 10^{38}$	7–8	4
Double	$5,0 \cdot 10^{-324} \dots 1,7 \cdot 10^{308}$	15–16	8
Extended	$3,4 \cdot 10^{-4932} \dots 1,1 \cdot 10^{4932}$	19–20	10

Покажем преобразование действительного числа для представления его в памяти ЭВМ на примере величины типа *Double*.

Как видно из таблицы, величина этого типа занимает в памяти 8 байт. На рисунке показано, как здесь представлены поля мантиссы и порядка:

S	Смещенный порядок	Мантисса
63	52	0

Можно заметить, что старший бит, отведенный под мантиссу, имеет номер 51, т.е. мантисса занимает младшие 52 бита. Черта указывает здесь на положение двоичной запятой. Перед запятой должен стоять бит целой части мантиссы, но поскольку она всегда равна 1, здесь данный бит не требуется и соответствующий разряд отсутствует в памяти (но он подразумевается). Значение порядка хранится здесь не как целое число, представленное в дополнительном коде. Для упрощения вычислений и сравнения действительных чисел значение порядка в ЭВМ хранится в виде *смещенного числа*, т.е. к настоящему значению порядка перед записью его в память прибавляется смещение. Смещение выбирается так, чтобы минимальному значению порядка соответствовал нуль. Например, для типа *Double* порядок занимает 11 бит и имеет диапазон от 2^{-1023} до 2^{1023} , поэтому смещение равно $1023_{(10)} = 1111111111_{(2)}$. Наконец, бит с номером 63 указывает на знак числа.

Таким образом, из вышесказанного вытекает следующий алгоритм для получения представления действительного числа в памяти ЭВМ:

- 1) перевести модуль данного числа в двоичную систему счисления;
- 2) нормализовать двоичное число, т.е. записать в виде $M \cdot 2^p$, где M — мантисса (ее целая часть равна $1_{(2)}$) и p — порядок, записанный в десятичной системе счисления;
- 3) прибавить к порядку смещение и перевести смещенный порядок в двоичную систему счисления;
- 4) учитывая знак заданного числа (0 — положительное; 1 — отрицательное), выписать его представление в памяти ЭВМ.

$I=1/512*1024*1024*8=16384$ бит. - перевели в биты информационный объем сообщения. $a=I/K = 16384/1024=16$ бит - приходится на один символ алфавита. $2^{16} = 65536$ символов - мощность использованного алфавита. Именно такой

алфавит используется в кодировке *Unicode*, который должен стать международным стандартом для представления символьной информации в компьютере.

2.2 Кодирование графической информации

В середине 50-х годов для больших ЭВМ, которые применялись в научных и военных исследованиях, впервые в графическом виде было реализовано представление данных. В настоящее время широко используются технологии обработки графической информации с помощью ПК. Графический интерфейс пользователя стал стандартом «де-факто» для ПО разных классов, начиная с операционных систем. Вероятно, это связано со свойством человеческой психики: наглядность способствует более быстрому пониманию. Широкое применение получила специальная область информатики, которая изучает методы и средства создания и обработки изображений с помощью программно-аппаратных вычислительных комплексов, - компьютерная графика. Без нее трудно представить уже не только компьютерный, но и вполне материальный мир, так как визуализация данных применяется во многих сферах человеческой деятельности. В качестве примера можно привести опытно-конструкторские разработки, медицину (компьютерная томография), научные исследования и др.

Особенно интенсивно технология обработки графической информации с помощью компьютера стала развиваться в 80-х годах. Графическую информацию можно представлять в двух формах: аналоговой или дискретной. Живописное полотно, цвет которого изменяется непрерывно - это пример аналогового представления, а изображение, напечатанное при помощи струйного принтера и состоящее из отдельных точек разного цвета - это дискретное представление. Путем разбиения графического изображения (дискретизации) происходит преобразование графической информации из аналоговой формы в дискретную. При этом производится кодирование - присвоение каждому элементу конкретного значения в форме кода. При кодировании изображения происходит его пространственная дискретизация. Её можно сравнить с построением изображения из большого количества маленьких цветных фрагментов (метод мозаики). Все изображение разбивается на отдельные точки, каждому элементу ставится в соответствие код его цвета. При этом качество кодирования будет зависеть от следующих параметров: размера точки и количества используемых цветов. Чем меньше размер точки, а, значит, изображение составляется из большего количества точек, тем выше качество кодирования. Чем большее количество цветов используется (т. е. точка изображения может принимать больше возможных состояний), тем больше информации несет каждая точка, а, значит, увеличивается качество кодирования. Создание и хранение графических объектов возможно в нескольких видах - в виде векторного, фрактального или растрового изображения. Отдельным предметом считается 3D (трехмерная) графика, в которой сочетаются векторный и растровый способы формирования изображений. Она изучает методы и приемы построения объемных моделей объектов в виртуальном пространстве. Для каждого вида используется свой способ кодирования графической информации.

Растровое изображение.

При помощи увеличительного стекла можно увидеть, что чёрно-белое графическое изображение, например из газеты, состоит из мельчайших точек, составляющих определенный узор - растр. Во Франции в 19 веке возникло новое направление в живописи - пуантилизм. Его техника заключалась в том, что на холст рисунок наносился кистью в виде разноцветных точек. Также этот метод издавна применяется в полиграфии для кодирования графической информации. Точность передачи рисунка зависит от количества точек и их размера. После разбиения рисунка на точки, начиная с левого угла, двигаясь по строкам слева направо, можно кодировать цвет каждой точки. Далее одну такую точку будем называть пикселем (происхождение этого слова связано с английской аббревиатурой «picture element» - элемент рисунка). Объём растрового изображения определяется умножением количества пикселей (на информационный объём одной точки, который зависит от количества возможных цветов. Качество изображения определяется разрешающей способностью монитора. Чем она выше, то есть больше количество строк раstra и точек в строке, тем выше качество изображения. В современных ПК в основном используют следующие разрешающие способности экрана: 640 на 480, 800 на 600, 1024 на 768 и 1280 на 1024 точки. Так как яркость каждой точки и ее линейные координаты можно выразить с помощью целых чисел, то можно сказать, что этот метод кодирования позволяет использовать двоичный код для того чтобы обрабатывать графические данные.

Если говорить о чёрно-белых иллюстрациях, то, если не использовать полутона, то пиксель будет принимать одно из двух состояний: светится (белый) и не светится (чёрный). А так как информация о цвете пикселя называется кодом пикселя, то для его кодирования достаточно одного бита памяти: 0 - чёрный, 1 - белый. Если же рассматриваются иллюстрации в виде комбинации точек с 256 градациями серого цвета (а именно такие в настоящее время общеприняты), то достаточно восьмиразрядного двоичного числа для того чтобы закодировать яркость любой точки. В компьютерной графике чрезвычайно важен цвет. Он выступает

как средство усиления зрительного впечатления и повышения информационной насыщенности изображения. Как формируется ощущение цвета человеческим мозгом? Это происходит в результате анализа светового потока, попадающего на сетчатку глаза от отражающих или излучающих объектов. Принято считать, что цветовые рецепторы человека, которые ещё называют колбочками, подразделяются на три группы, причем каждая может воспринимать всего один цвет - красный, или зелёный, или синий.

Цветовые модели.

Если говорить о кодировании цветных графических изображений, то нужно рассмотреть принцип декомпозиции произвольного цвета на основные составляющие. Применяют несколько систем кодирования: *HSB*, *RGB* и *CMYK*. Первая цветовая модель проста и интуитивно понятна, т. е. удобна для человека, вторая наиболее удобна для компьютера, а последняя модель *CMYK*-для типографий. Использование этих цветовых моделей связано с тем, что световой поток может формироваться излучениями, представляющими собой комбинацию «чистых» спектральных цветов: красного, зелёного, синего или их производных. Различают аддитивное цветовоспроизведение (характерно для излучающих объектов) и субтрактивное цветовоспроизведение (характерно для отражающих объектов). В качестве примера объекта первого типа можно привести электронно-лучевую трубку монитора, второго типа - полиграфический отпечаток.

1) Модель *HSB* характеризуется тремя компонентами: оттенок цвета (*Hue*), насыщенность цвета (*Saturation*) и яркость цвета (*Brightness*). Можно получить большое количество произвольных цветов, регулируя эти компоненты. Эту цветовую модель лучше применять в тех графических редакторах, в которых изображения создают сами, а не обрабатывают уже готовые. Затем созданное произведение можно преобразовать в цветовую модель *RGB*, если её планируется использовать в качестве экранной иллюстрации, или *CMYK*, если в качестве печатной. Значение цвета выбирается как вектор, выходящий из центра окружности. Направление вектора задаётся в угловых градусах и определяет цветовой оттенок. Насыщенность цвета определяется длиной вектора, а яркость цвета задаётся на отдельной оси, нулевая точка которой имеет чёрный цвет. Точка в центре соответствует белому (нейтральному) цвету, а точки по периметру - чистым цветам.

2) Принцип метода *RGB* заключается в следующем: известно, что любой цвет можно представить в виде комбинации трех цветов: красного (*Red, R*), зеленого (*Green, G*), синего (*Blue, B*). Другие цвета и их оттенки получаются за счет наличия или отсутствия этих составляющих. По первым буквам основных цветов система и получила свое название - *RGB*. Данная цветовая модель является аддитивной, то есть любой цвет можно получить сочетанием основных цветов в различных пропорциях. При наложении одного компонента основного цвета на другой яркость суммарного излучения увеличивается. Если совместить все три компонента, то получим ахроматический серый цвет, при увеличении яркости которого происходит приближение к белому цвету.

При 256 градациях тона (каждая точка кодируется 3 байтами) минимальные значения *RGB* (0,0,0) соответствуют черному цвету, а белому - максимальные с координатами (255, 255, 255). Чем больше значение байта цветовой составляющей, тем этот цвет ярче. Например, темно-синий кодируется тремя байтами (0, 0, 128), а ярко-синий (0, 0, 255).

3) Принцип метода *CMYK*. Эта цветовая модель используется при подготовке публикаций к печати. Каждому из основных цветов ставится в соответствие дополнительный цвет (дополняющий основной до белого). Получают дополнительный цвет за счет суммирования пары остальных основных цветов. Значит, дополнительными цветами для красного является голубой (*Cyan, C*) = зелёный + синий = белый - красный, для зеленого - пурпурный (*Magenta, M*) = красный + синий = белый - зелёный, для синего - жёлтый (*Yellow, Y*) = красный + зелёный = белый - синий. Причем принцип декомпозиции произвольного цвета на составляющие можно применять как для основных, так и для дополнительных, то есть любой цвет можно представить или в виде суммы красной, зелёной, синей составляющей или же в виде суммы голубой, пурпурной, жёлтой составляющей. В основном такой метод принят в полиграфии. Но там ещё используют чёрный цвет (*Black*, так как буква *B* уже занята синим цветом, то обозначают буквой *K*). Это связано с тем, что наложение друг на друга дополнительных цветов не даёт чистого чёрного цвета.

Различают несколько режимов представления цветной графики: а) полноцветный (*True Color*); б) *High Color*; в) индексный.

При полноцветном режиме для кодирования яркости каждой из составляющих используют по 256 значений (восемь двоичных разрядов), то есть на кодирование цвета одного пикселя (в системе *RGB*) надо затратить $8 \cdot 3 = 24$ разряда. Это позволяет однозначно определять 16,5 млн цветов. Это довольно близко к чувствительности человеческого глаза. При кодировании с помощью системы *CMYK* для представления цветной графики надо иметь $8 \cdot 4 = 32$ двоичных разряда. Режим *High Color* - это кодирование при помощи 16-

разрядных двоичных чисел, то есть уменьшается количество двоичных разрядов при кодировании каждой точки. Но при этом значительно уменьшается диапазон кодируемых цветов.

При индексном кодировании цвета можно передать всего лишь 256 цветовых оттенков. Каждый цвет кодируется при помощи восьми бит данных. Но так как 256 значений не передают весь диапазон цветов, доступный человеческому глазу, то подразумевается, что к графическим данным прилагается палитра (справочная таблица), без которой воспроизведение будет неадекватным: море может получиться красным, а листья - синими. Сам код точки растра в данном случае означает не сам по себе цвет, а только его номер (индекс) в палитре. Отсюда и название режима - индексный.

Соответствие между количеством отображаемых цветов (K) и количеством бит для их кодировки (a) находится по формуле: $K = 2^a$.

A	K	Достаточно для...
4	$2^4 = 16$	
8	$2^8 = 256$	Рисованных изображений типа тех, что видим в мультфильмах, но недостаточно для изображений живой природы
16 (<i>High Color</i>)	$2^{16} = 65536$	Изображений, которые на картинках в журналах и на фотографиях
24 (<i>True Color</i>)	$2^{24} = 16\,777\,216$	Обработки и передачи изображений, не уступающих по качеству наблюдаемым в живой природе

Двоичный код изображения, выводимого на экран, хранится в видеопамати. Видеопамать - это электронное энергозависимое запоминающее устройство. Размер видеопамати зависит от разрешающей способности дисплея и количества цветов. Но ее минимальный объем определяется так, чтобы поместился один кадр (одна страница) изображения, т.е. как результат произведения разрешающей способности на размер кода пикселя. $V_{min} = M \cdot N \cdot a$.

Двоичный код восьмицветной палитры.

Цвет	Составляющие		
	к	З	С
Красный	1	0	0
Зеленый	0	1	0
Синий	0	0	1
Голубой	0	1	1
Пурпурный	1	0	1
Желтый	1	1	0
Белый	1	1	1
Черный	0	0	0

Шестнадцатицветная палитра позволяет увеличить количество используемых цветов. Здесь будет использоваться 4-разрядная кодировка пикселя: 3 бита основных цветов + 1 бит интенсивности. Последний управляет яркостью трех базовых цветов одновременно (интенсивностью трёх электронных пучков).

Двоичный код шестнадцатицветной палитры.

Цвет	Составляющие			
	к	З	С	Интенс
Красный	1	0	0	0
Зелёный	0	1	0	0
Синий	0	0	1	0
Голубой	0	1	1	0
Пурпурный	1	0	1	1
Ярко-жёлтый	1	1	0	1
Серый (белый)	1	1	1	0
Тёмно-серый	0	0	0	1
Ярко-голубой	0	1	1	1

Ярко-синий	0	0	1	0
...				
Ярко-белый	1	1	1	1
Чёрный	0	0	0	0

При раздельном управлении интенсивностью основных цветов количество получаемых цветов увеличивается. Так для получения палитры при глубине цвета в 24 бита на каждый цвет выделяется по 8 бит, то есть возможны 256 уровней интенсивности ($K = 28$).

Двоичный код 256-цветной палитры.

Цвет	Составляющие		
	К	З	С
Красный	11111111	00000000	00000000
Зелёный	00000000	11111111	00000000
Синий	00000000	00000000	11111111
Голубой	00000000	11111111	11111111
Пурпурный	11111111	00000000	11111111
Жёлтый	11111111	11111111	00000000
Белый	11111111	11111111	11111111
Чёрный	00000000	00000000	00000000

Векторное и фрактальное изображения.

Векторное изображение - это графический объект, состоящий из элементарных отрезков и дуг. Базовым элементом изображения является линия. Как и любой объект, она обладает свойствами: формой (прямая, кривая), толщиной, цветом, начертанием (пунктирная, сплошная). Замкнутые линии имеют свойство заполнения (или другими объектами, или выбранным цветом). Все прочие объекты векторной графики состояются из линий. Так как линия описывается математически как единый объект, то и объем данных для отображения объекта средствами векторной графики значительно меньше, чем в растровой графике. Информация о векторном изображении кодируется как обычная буквенно-цифровая и обрабатывается специальными программами.

К программным средствам создания и обработки векторной графики относятся следующие ГР: *CorelDraw*, *Adobe Illustrator*, а также векторизаторы (трассировщики) - специализированные пакеты преобразования растровых изображений в векторные.

Фрактальная графика основывается на математических вычислениях, как и векторная. Но в отличие от векторной ее базовым элементом является сама математическая формула. Это приводит к тому, что в памяти компьютера не хранятся никаких объектов и изображение строится только по уравнениям. При помощи этого способа можно строить простейшие регулярные структуры, а также сложные иллюстрации, которые имитируют ландшафты.

Задачи.

1. Известно, что видеопамять компьютера имеет объем 512 Кбайт. Разрешающая способность экрана 640 на 200. Сколько страниц экрана одновременно разместится в видеопамети при палитре а) из 8 цветов; б) 16 цветов; в) 256 цветов? Сколько бит требуется, чтобы закодировать информацию о 130 оттенках? Нетрудно подсчитать, что 8 (то есть 1 байт), поскольку при помощи 7 бит можно сохранить номер оттенка от 0 до 127, а 8 бит хранят от 0 до 255. Такой способ кодирования не оптимален: 130 заметно меньше 255. Подумайте, как уплотнить информацию о рисунке при его записи в файл, если известно, что а) в рисунке одновременно содержится только 16 цветовых оттенков из 138 возможных; б) в рисунке присутствуют все 130 оттенков одновременно, но количество точек, окрашенных разными оттенками, сильно различаются.

Решение. Очевидно, что для хранения информации о 16 оттенках достаточно 4 бита (половина байта). Однако так как эти 16 оттенков выбраны из 130, то они могут иметь номера, не уместяющиеся в 4 битах. Поэтому воспользуемся методом палитр. Назначим 16 используемым в нашем рисунке оттенкам свои «локальные» номера от 1 до 15 и закодируем весь рисунок из расчета 2 точки на байт. А затем допишем к этой информации (в конец содержащего ее файла) таблицу соответствия, состоящую из 16 пар байтов с номерами оттенков: 1 байт - наш «локальный» номер в данном рисунке, второй - реальный номер данного оттенка (когда вместо последнего используется закодированная информация о самом оттенке, например, сведения об яркости свечения «электронных пушек» *Red, Green, Blue* электронно-лучевой трубки, то такая таблица и будет представлять собой палитру цветов). Если рисунок достаточно велик, выигрыш в объеме полученного файла будет значительным;

Попытаемся реализовать простейший алгоритм архивации информации о рисунке. Назначим трём оттенкам, которыми закрашено минимальное количество точек, коды 128 - 130, а остальным оттенкам - коды 1 - 127. Будем записывать в файл (который в этом случае представляет собой не последовательность байтов, а сплошной битовый поток) семибитные коды для оттенков с номерами от 1 до 127. Для оставшихся же трёх оттенков в битовом потоке будем записывать число-признак - семибитный 0 - и сразу за ним двухбитный “локальный” номер, а в конце файла добавим таблицу соответствия “локальных” и реальных номеров. Так как оттенки с кодами 128 - 130 встречаются редко, то семибитных нулей будет немного.

Заметим, что постановка вопросов в данной задаче не исключает и другие варианты решения, без привязки к цветовому составу изображения - архивацию:

- а) на основе выделения последовательности точек, закрашенных одинаковыми оттенками и замены каждой из этих последовательностей на пару чисел (цвет), (количество) (этот принцип лежит в основе графического формата *PCX*);
- б) путём сравнения пиксельных строк (запись номеров оттенков точек первой страницы целиком, а для последующих строк запись номеров оттенков только тех точек, оттенки которых отличаются от оттенков точек, стоящих в той же позиции в предыдущей строке, - это основа формата *GIF*);
- в) с помощью фрактального алгоритма упаковки изображений (формат *JPEG*). (ИО 6,1999)

2.3 Кодирование звуковой информации

Мир наполнен самыми разнообразными звуками: тиканье часов и гул моторов, завывание ветра и шелест листьев, пение птиц и голоса людей. О том, как рождаются звуки и что они собой представляют люди начали догадываться очень давно. Еще древнегреческий философ и учёный - энциклопедист Аристотель, исходя из наблюдений, объяснял природу звука, полагая, что звучащее тело создает попеременное сжатие и разрежение воздуха. Так, колеблющаяся струна то разряжает, то уплотняет воздух, а из-за упругости воздуха эти чередующиеся воздействия передаются дальше в пространство - от слоя к слою, возникают упругие волны. Достигая нашего уха, они воздействуют на барабанные перепонки и вызывают ощущение звука.

На слух человек воспринимает упругие волны, имеющие частоту где-то в пределах от 16 Гц до 20 кГц (1 Гц - 1 колебание в секунду). В соответствии с этим упругие волны в любой среде, частоты которых лежат в указанных пределах, называют звуковыми волнами или просто звуком. В учении о звуке важны такие понятия как *тон* и *тембр* звука. Всякий реальный звук, будь то игра музыкальных инструментов или голос человека, - это своеобразная смесь многих гармонических колебаний с определенным набором частот.

Колебание, которое имеет наиболее низкую частоту, называют *основным тоном*, другие - *обертонами*.

Тембр - разное количество обертонов, присущих тому или иному звуку, которое придает ему особую окраску. Отличие одного тембра от другого обусловлено не только числом, но и интенсивностью обертонов, сопровождающих звучание основного тона. Именно по тембру мы легко можем отличить звуки рояля и скрипки, гитары и флейты, узнать голос знакомого человека.

Музыкальный звук можно характеризовать тремя качествами: тембром, т. е. окраской звука, которая зависит от формы колебаний, высотой, определяющейся числом колебаний в секунду (частотой), и громкостью, зависящей от интенсивности колебаний.

Компьютер широко применяют в настоящее время в различных сферах. Не стала исключением и обработка звуковой информации, музыка. До 1983 все записи музыки выходили на виниловых пластинках и компакт-кассетах. В настоящее время широкое распространение получили компакт-диски. Если имеется компьютер, на котором установлена студийная звуковая плата, с подключенными к ней *MIDI*-клавиатурой и микрофоном, то можно работать со специализированным музыкальным программным обеспечением.

Условно его можно разбить на несколько видов:

- 1) всевозможные служебные программы и драйверы, предназначенные для работы с конкретными звуковыми платами и внешними устройствами;
- 2) аудиоредакторы, которые предназначены для работы со звуковыми файлами, позволяют производить с ними любые операции - от разбиения на части до обработки эффектами;
- 3) программные синтезаторы, которые появились сравнительно недавно и корректно работают только на мощных компьютерах. Они позволяют экспериментировать с созданием различных звуков; и другие.

К первой группе относятся все служебные программы операционной системы. Так, например, *win 95* и *98* имеют свои собственные программы микшеры и утилиты для воспроизведения/записи звука, проигрывания компакт-дисков и стандартных *MIDI* - файлов. Установив звуковую плату можно при помощи этих программ проверить ее работоспособность. Например, программа Фонограф предназначена для работы с *wave*-файлами (файлы звукозаписи в формате *Windows*). Эти файлы имеют расширение *.WAV*. Эта программа предоставляет возможность воспроизводить, записывать и редактировать звукозапись приемами,

аналогичными приемам работы с магнитофоном. Желательно для работы с Фонографом подключить микрофон к компьютеру. Если необходимо сделать звукозапись, то нужно определиться с качеством звука, так как именно от нее зависит продолжительность звукозаписи. Продолжительность звучания тем меньше, чем выше качество записи. При среднем качестве записи можно удовлетворительно записывать речь, создавая файлы продолжительностью звучания до 60 секунд. Примерно 6 секунд будет продолжительность записи, имеющая качество музыкального компакт - диска.

А как же происходит кодирование звука? С самого детства мы сталкиваемся с записями музыки на разных носителях: грампластинках, кассетах, компакт-дисках и т.д. В настоящее время существует два основных способа записи звука: *аналоговый* и *цифровой*. Но для того чтобы записать звук на какой-нибудь носитель его нужно преобразовать в электрический сигнал.

Это делается с помощью микрофона. Простые микрофоны имеют мембрану, которая колеблется под воздействием звуковых волн. К мембране присоединена катушка, перемещающаяся синхронно с мембраной в магнитном поле. В катушке возникает переменный электрический ток. Изменения напряжения тока точно отражают звуковые волны. Переменный электрический ток, который появляется на выходе микрофона, называется *аналоговым* сигналом. Применительно к электрическому сигналу «аналоговый» обозначает, что этот сигнал непрерывен по времени и амплитуде. Он точно отражает форму звуковой волны, которая распространяется в воздухе.

Звуковую информацию можно представить в дискретной или аналоговой форме. Их отличие в том, что при дискретном представлении информации физическая величина изменяется скачкообразно («лесенкой»), принимая конечное множество значений. Если же информацию представить в аналоговой форме, то физическая величина может принимать бесконечное количество значений, непрерывно изменяющихся.

Виниловая пластинка является примером аналогового хранения звуковой информации, так как звуковая дорожка свою форму изменяет непрерывно. Но у аналоговых записей на магнитную ленту есть большой недостаток - старение носителя. За год фонограмма, которая имела нормальный уровень высоких частот, может их потерять. Виниловые пластинки при проигрывании их несколько раз теряют качество. Поэтому преимущество отдают цифровой записи. В начале 80-х годов появились компакт-диски. Они являются примером дискретного хранения звуковой информации, так как звуковая дорожка компакт - диска содержит участки с различной отражающей способностью. Теоретически эти цифровые диски могут служить вечно, если их не царапать, т.е. их преимуществами являются долговечность и неподверженность механическому старению. Другое преимущество заключается в том, что при цифровой перезаписи нет потери качества звука. На мультимедийных звуковых картах можно найти аналоговые микрофонный предусилитель и микшер.

Цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование звуковой информации.

Кратко рассмотрим процессы преобразования звука из аналоговой формы в цифровую и наоборот. Примерное представление о том, что происходит в звуковой карте, может помочь избежать некоторых ошибок при работе со звуком.

Звуковые волны при помощи микрофона превращаются в аналоговый переменный электрический сигнал. Он проходит через звуковой тракт и попадает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - устройство, которое переводит сигнал в цифровую форму. В упрощенном виде принцип работы АЦП заключается в следующем: он измеряет через определенные промежутки времени амплитуду сигнала и передает дальше, уже по цифровому тракту, последовательность чисел, несущих информацию об изменениях амплитуды. Во время аналого-цифрового преобразования никакого физического преобразования не происходит. С электрического сигнала как бы снимается отпечаток или образец, являющийся цифровой моделью колебаний напряжения в аудиотракте. Если это изобразить в виде схемы, то эта модель представлена в виде последовательности столбиков, каждый из которых соответствует определенному числовому значению. Цифровой сигнал по своей природе дискретен - то есть прерывист, поэтому цифровая модель не совсем точно соответствует форме аналогового сигнала.

Семпл - это промежуток времени между двумя измерениями амплитуды аналогового сигнала. Дословно *Sample* переводится с английского как «образец». В мультимедийной и профессиональной звуковой терминологии это слово имеет несколько значений. Кроме промежутка времени семплом называют также любую последовательность цифровых данных, которые получили путем аналого-цифрового преобразования. Сам процесс преобразования называют *семплированием*. В русском техническом языке называют его *дискретизацией*.

Вывод цифрового звука происходит при помощи цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), который на основании поступающих цифровых данных в соответствующие моменты времени генерирует электрический сигнал необходимой

Важными параметрами **семплирования** являются частота и разрядность.

Частота - количество измерений амплитуды аналогового сигнала в секунду.

Если частота семплирования не будет более чем в два раза превышать частоту верхней границы звукового диапазона, то на высоких частотах будут происходить потери. Это объясняет то, что стандартная частота для звукового компакт-диска - это частота 44.1 кГц. Так как диапазон колебаний звуковых волн находится в пределах от 20 Гц до 20 кГц, то количество измерений сигнала в секунду должно быть больше, чем количество колебаний за тот же промежуток времени. Если же частота дискретизации значительно ниже частоты звуковой волны, то амплитуда сигнала успевает несколько раз измениться за время между измерениями, а это приводит к тому, что цифровой отпечаток несет хаотичный набор данных. При цифро-аналоговом преобразовании такой семпл не передает основной сигнал, а только выдает шум. В новом формате компакт-дисков *Audio DVD* за одну секунду сигнал измеряется 96 000 раз, т.е. применяют частоту семплирования 96 кГц. Для экономии места на жестком диске в мультимедийных приложениях довольно часто применяют меньшие частоты: 11, 22, 32 кГц. Это приводит к уменьшению слышимого диапазона частот, а, значит, происходит сильное искажение того, что слышно.

Разрядность указывает с какой точностью происходят изменения амплитуды аналогового сигнала. Точность, с которой при оцифровке передается значение амплитуды сигнала в каждый из моментов времени, определяет качество сигнала после цифро-аналогового преобразования. Именно от разрядности зависит достоверность восстановления формы волны.

Для кодирования значения амплитуды используют принцип двоичного кодирования. Звуковой сигнал должен быть представленным в виде последовательности электрических импульсов (двоичных нулей и единиц). Обычно используют 8, 16-битное или 20-битное представление значений амплитуды. При двоичном кодировании непрерывного звукового сигнала его заменяют последовательностью дискретных уровней сигнала. От частоты дискретизации (количества измерений уровня сигнала в единицу времени) зависит качество кодирования. С увеличением частоты дискретизации увеличивается точность двоичного представления информации. При частоте 8 кГц (количество измерений в секунду 8000) качество семплированного звукового сигнала соответствует качеству радиотрансляции, а при частоте 48 кГц (количество измерений в секунду 48000) - качеству звучания аудио- *CD*. Если использовать 8-битное кодирование, то можно достичь точность изменения амплитуды аналогового сигнала до 1/256 от динамического диапазона цифрового устройства ($2^8 = 256$). Если использовать 16-битное кодирование для представления значений амплитуды звукового сигнала, то точность измерения возрастет в 256 раз. В современных преобразователях принято использовать 20-битное кодирование сигнала, что позволяет получать высококачественную оцифровку звука. Вспомним формулу $K = 2^a$. Здесь K - количество всевозможных звуков (количество различных уровней сигнала или состояний), которые можно получить при помощи кодирования звука а битами

а	К	Применение
8	256	Недостаточно для достоверного восстановления исходного сигнала, так как будут большие нелинейные искажения. Применяют в основном в мультимедийных приложениях, где не требуется высокое качество звука
16	65536	Используется при записи компакт-дисков, так как нелинейные искажения сводятся к минимуму.
20	1048576	Где требуется высококачественная оцифровка звука.

Но эти данные истинны только для того сигнала, чей максимальный уровень 0 дБ. Если нужно семплировать сигнал с уровнем 6 дБ с разрядностью 16 бит, то для кодирования его амплитуды будет оставаться на самом деле только 15 бит. Если сигнал с уровнем 12 дБ, то 14 бит. С увеличением уровня сигнала увеличивается разрядность его оцифровки, а значит, уменьшается уровень нелинейных искажений (В технической литературе существует термин «шум квантования»), в свою очередь каждые 6 дБ уменьшающие уровень будут «съедать» 1 бит.

Бытовой цифровой формат *Audio DVD* использует разрядность 24 бита и частоту семплирования 96 кГц. С его помощью можно избежать выше рассмотренного недостатка 16-битного кодирования. На современные цифровые звуковые устройства устанавливаются 20-битные преобразователи. Звук так и

остаётся 16-битным, преобразователи повышенной разрядности устанавливают для улучшения качества записи на низких уровнях. Здесь исходный аналоговый сигнал оцифровывается с разрядностью 20 бит. Затем цифровой сигнал снижает его разрядность до 16 бит. При этом используется специальный алгоритм вычислений, при помощи которого можно снизить искажения низкоуровневых сигналов. Обратный процесс наблюдается при цифро-аналоговом преобразовании: разрядность повышается с 16 до 20 бит при использовании специального алгоритма, который позволяет более точно определять значения амплитуды. Звук остается 16-разрядным, но имеется общее улучшение качества звучания.

Задачи.

1. Подсчитать, сколько места будет занимать одна минута цифрового звука на жестком диске или любом другом цифровом носителе, записанного с частотой а) 44.1 кГц; б) 11 кГц; в) 22 кГц; г) 32 кГц и разрядностью 16 бит.
Решение. а) Если записывают моносигнал с частотой 44.1 кГц, разрядностью 16 бит (2 байта), то каждую минуту аналого-цифровой преобразователь будет выдавать $441000 \cdot 2 \cdot 60 = 529000$ байт (5 Мб) данных об амплитуде аналогового сигнала, который в компьютере записывается на жесткий диск. Если записывают стереосигнал, то 1058000 байт (10 Мб).

2. Какой информационный объем имеет моноаудиофайл, длительность звучания которого 1 секунда, при среднем качестве звука (16 бит, 24 кГц)? *Решение.* $16 \text{ бит} \cdot 24000 = 384000 \text{ бит} = 48000 \text{ байт} = 47 \text{ кБайт}$

3. Рассчитайте объем стереоаудиофайла длительностью 20 секунд при 20-битном кодировании и частоте дискретизации 44.1 кГц. *Решение.* $20 \text{ бит} \cdot 20 \cdot 44100 \cdot 2 = 35280000 \text{ бит} = 4410000 \text{ байт} = 4.41 \text{ Мб}$

4. Определить количество уровней звукового сигнала при использовании устаревших 8-битных звуковых карт.
Решение. $K = 2^8 = 256$.

В Природе информация самоценна, она не предполагает существование какого-либо потребителя и служит мерой упорядоченности системы. Однако, помимо физической и технической информации существует ещё и смысловая информация, имеющая прагматическое значение для животного, человека или общества. Такая информация характеризует не столько само сообщение, сколько соотношение между сообщением и его потребителем, т.е. смысловая информация предусматривает наличие потребителя, хотя бы потенциального.

В данной лекции мы рассмотрим семантическую, смысловую и прагматическую информацию. Основное внимание уделим свойствам смысловой информации и её мере и участию в информационном процессах, в том числе – процессах распространения информации.

До сих пор мы занимались физической и технической информацией. Информация интересовала нас как мера детерминированного хаоса и как нагрузка на радиста, передающего некий текст на Большую Землю азбукой Морзе, причём с ошибками и на фоне грозových разрядов. Иногда мы пребывали в мире молекул, Космоса и радиоволн. Теперь нам придётся вернуться в мир людей и вспомнить, что в отличие от энтропии, информация ещё несёт и содержание. Распространение слухов в стиле ОБС (*Одна Баба Сказала*), передачи радио и телевидения, газеты, учёные книги, учебники и т.д. и т.п. – всё это процессы распространения смысловой информации (бессмысленной информации и дезинформации).

В этой части курса мы ими и займёмся.

Одно и то же информационное сообщение (статья в газете, объявление, письмо, телеграмма, справка, рассказ, чертёж, радиопередача и т. п.) может содержать разное количество информации для разных людей в зависимости от их накопленных знаний, от уровня понимания этого сообщения и интереса к нему. Так, сообщение, составленное *на японском языке, не несёт* никакой новой информации человеку, не знающему этого языка, но может быть высокоинформативным для человека, владеющего японским. *Никакой новой информации* не содержит и сообщение, изложенное на знакомом языке, если его *содержание непонятно или уже известно*.

Информация есть характеристика не сообщения, а соотношения между сообщением и его потребителем. Без наличия потребителя, хотя бы потенциального, говорить об информации бессмысленно.

В случаях, когда говорят об автоматизированной работе с информацией посредством каких-либо технических устройств, обычно в первую очередь интересуются не содержанием сообщения, а тем, сколько символов это сообщение содержит.

Применительно к компьютерной обработке данных под **информацией** понимают некоторую **последовательность символических обозначений** (букв, цифр, закодированных графических образов и звуков и т. п.), несущую смысловую нагрузку и представленную в понятном компьютеру виде. Каждый новый символ в такой последовательности символов увеличивает информационный объём сообщения.

Информация - осознанные сведения об окружающем мире, которые являются объектом хранения, преобразования, передачи и использования. Сведения - это знания, выраженные в сигналах, сообщениях, известиях, уведомлениях и т. д. Каждого человека в мире окружает море информации различных видов.

Сейчас выражение: кто обладает информацией, тот обладает всем - поменялось на: всем обладает тот, кто обладает навыком извлечения ответа на вопрос из любой случайно выбранной информации. Здесь имеется ввиду именно смысловая информация.

Если ранее под теорией информации мы понимали общие свойства процессов, которые худо-бедно, но всё же можно было описать математически в рамках теории алгоритмов, автоматов или кодирования, математической логики, методов операций и др., то теперь мы вспомним такие свойства информации, как

1. Информация, которая у меня есть, не та, которую я хотел бы получить.
2. Информация, которую я хочу получить, не та, которая мне на самом деле нужна.
3. Информация, которая мне на самом деле нужна, мне недоступна.
4. Информация, которая в принципе мне доступна, стоит больше, чем я могу за неё заплатить.

Здесь мы будем заниматься теми аспектами информации, которые математически не опишешь, но которые в жизни каждого очень важны. Нас будут интересовать информационные потоки информации в различных сложных системах, проблемы их оптимизации, структурирования, в так же принципы хранения и поиска информации.



Информация (речь идёт о смысловой информации) - это совокупность сведений о предметах, явлениях или процессах, представляющая интерес и подлежащая обработке, или информация - это значения данных с определенными условностями. Информация - результат взаимодействия материальных предметов, передаваемый по материальному каналу. Смысловая информация - поток сведений, сообщенный кем-то или полученный в результате исследования, анализа или обучения. Информация первична по отношению к знаниям, она несёт всё необходимое для знаний.

Знание - это проверенный практикой результат познания действительности, верное отражение её, в конечном счёте, в мышлении человека. Знание - это зафиксированная информация в памяти человека, общества или технического устройства. Формализованное определение знания гласит: знание - это представление фактов, утверждений о фактах или правило получения утверждений о фактах из имеющихся фактов. Информация - это поток сообщений, передаваемых по материальному каналу для динамического воздействия на систему, человека или общество, знание - это фиксированное сообщение, которое воздействует на систему, общество или человека, в конечном счёте.

Создание оптимальных условий передачи, хранения и переработки информации – важная задача информатики. Обращение с информацией – постоянная забота биосферы, но и в практической деятельности людей обмен информацией играет большую роль, причём объём информации необходимый для нормального функционирования современного общества растёт пропорционально квадрату развития промышленного потенциала.

Информация наряду с материей и энергией является первичным понятием нашего мира и её нельзя чётко определить. Можно лишь перечислить её основные свойства:

- 1) информация приносит сведения, об окружающем мире которых в рассматриваемой точке не было до её получения;
- 2) информация не материальна, но она проявляется в форме материальных носителей дискретных знаков или сигналах;
- 3) знаки и сигналы несут информацию только для получателя способного её распознать.



В практическом смысле под информацией понимают совокупность сведений об окружающем мире, которые надо хранить, передавать и преобразовывать. Знаки или сигналы несут информацию не потому, что они повторяют реальные объекты, а по договоренности об однозначной связи знаков и объектов (например, предметам сопоставляются слова для их обозначения). Первичные сигналы могут порождаться естественными законами реального мира (например, напряжение на выходе термопары под действием температуры). Информация, основанная на однозначной связи знаков или сигналов с объектами реального мира, называется семантической (смысловой). Информация, заключенная в характере следования знаков сообщения называется синтаксической. В науке о знаках (семиотике) есть сигматический и прагматический аспекты информации. В первом случае выбираются знаки для обозначения объектов реального мира, во втором случае речь идёт о ценности информации для достижения поставленной цели. Наибольший практический интерес представляют смысловой, семантический и прагматический аспекты. Впрочем, до сих пор не определены объективные количественные критерии ценности и полезности информации.

В предыдущей лекции мы рассмотрели теорию информации применительно к системам типа идеального газа, теперь мы перейдём к прикладным аспектам теории – передаче информации, в частности, к статистической теории связи. Действительно, доставки получателю информации как совокупности знаков, входит в задачи информатики. В отличие от животного и растительного мира, в мире людей (небольшой части биоты) синтаксическая мера информации имеет практическую ценность потому, что интересующая в конечном итоге получателя (имеется в виду человек) семантическая информация заключена в заданной последовательности знаков или первичных сигналов. Чем больше знаков передаются в определенный интервал времени, тем в среднем больше передается и смысловой информации.

Таким образом, в данной лекции мы займёмся теорией информации исключительно с эгоистической точки зрения человека.

1. СЕМАНТИКА И ПРАГМАТИКА

Занимаясь термодинамикой и теорией связи, мы не обращали никакого внимания на содержание информации, но всё же интуитивно предполагали, что оно у неё есть, причём не только в смысле уменьшения информационной энтропии, т.е. ожидания появления какой-то буквы в тексте, выползающем из телеграфа, а в смысле расширения наших знаний о мироздании.

Информационная энтропия - мера хаотичности информации, неопределённость появления какого-либо символа первичного алфавита. При отсутствии информационных потерь численно равна количеству информации на символ передаваемого сообщения.

Понятие информации близко понятию данные. Однако между ними есть различие: данные - это сигналы, из которых еще надо извлечь информацию. Обработка данных есть процесс приведения их к пригодному для этого виду. Процесс их передачи от источника к потребителю и восприятия в качестве И. может рассматриваться как прохождение трёх фильтров:

- 1) **физического**, или **статистического** (чисто количественное ограничение по пропускной способности канала, независимо от содержания данных, т. е. с точки зрения синтактики);
- 2) **семантического** (отбор тех данных, которые могут быть поняты получателем, т. е. соответствуют тезаурусу его знаний);
- 3) **прагматического** (отбор среди понятых сведений тех, которые полезны для решения данной задачи).

Соответственно выделяются три аспекта изучения проблем информации - **синтаксический**, **семантический** и **прагматический**.

Дадим определение информации, которой мы будем заниматься в заключительной части лекций. Для определённости будем называть такую информацию смысловой, хотя в научной литературе она обычно называется то семантической, то прагматической информацией.

Информация – сведения об окружающем мире (объекте, процессе, явлении, событии), которые являются объектом преобразования (включая хранение, передачу и т.д.) и используются для выработки поведения, для принятия решения, для управления или для обучения.

Смысловая информация - смысл речевого произведения, являющийся результатом сопоставления семантической и ситуационной информации.

Поясним терминологию.

Семиотика («знак, признак») - наука, исследующая свойства знаков и знаковых систем (естественных и искусственных языков). Семиотика выделяет три основных аспекта изучения знака и знаковой системы:

- 1) синтактика изучает внутренние свойства систем знаков безотносительно к интерпретации;
- 2) семантика рассматривает отношение знаков к обозначаемому;

3) прагматика исследует связь знаков с «адресатом», то есть проблемы интерпретации знаков теми, кто их использует, их полезности и ценности для интерпретатора

Семантика (греч. - обозначающий) - наука о понимании определённых знаков, последовательностей символов и других условных обозначений.

Существует также отдельная самостоятельная дисциплина общая семантика, рассматривающая общую теорию оценки фактов, отношений, ощущений и т. д. не с точки зрения просто вербальных определений того, что говорится о значениях, но с точки зрения того, как в действительности происходят оценочные реакции у человека.

Семантика в программировании - система правил определения поведения отдельных языковых конструкций. Семантика определяет смысловое значение предложений алгоритмического языка.

Семантика - отрасль семиотики, изучающая отношение между знаком и означаемым. Раскрытие содержания означаемого называется интерпретацией. Наряду с синтаксисом семантика – неотъемлемая характеристика каждого языка.

Будучи объектом преобразования и использования, информация характеризуется следующими свойствами:

синтаксис – свойство, определяющее способ представления информации на носителе (в сигнале). Синтаксическая информация – это Шенноновская информация. Так, данная информация представлена на электронном носителе с помощью определенного шрифта. Здесь же можно рассматривать такие параметры представления информации, как стиль и цвет шрифта, его размеры, междустрочный интервал и т.д. Выделение нужных параметров как синтаксических свойств, очевидно, определяется предполагаемым способом преобразования. Например, для плохо видящего человека существенным является размер и цвет шрифта. Если предполагается вводить данный текст в компьютер через сканер, важен формат бумаги;

семантика – свойство, определяющее смысл информации как соответствие сигнала реальному миру. Так, семантика сигнала «информатика» заключается в данном ранее определении. Семантика может рассматриваться как некоторое соглашение, известное потребителю информации, о том, что означает каждый сигнал (так называемое правило интерпретации). Например, именно семантику сигналов изучает начинающий автомобилист, штудирующий правила дорожного движения, познавая дорожные знаки (в этом случае сигналами выступают сами знаки). Семантику слов (сигналов) познаёт обучаемый какому-либо иностранному языку. Можно сказать, что смысл обучения информатике заключается в изучении семантики различных сигналов – суть ключевых понятий этой дисциплины;

прагматика – свойство, определяющее влияние информации на поведение потребителя, например, студента, одолевшего, наконец, данную лекцию.

Прагматика (*дело, действие*), раздел - семиотики, посвященный рассмотрению и изучению отношения субъектов, воспринимающих и использующих какую-либо знаковую систему (её "интерпретаторов"), к самой знаковой системе. В отличие от синтактики, изучающей чисто структурные отношения между правильно построенными выражениями знаковой системы (безотносительно к их возможным интерпретациям), и семантики, внимание которой сосредоточено как раз на этих интерпретациях, прагматика изучает свойства и отношения какой-либо знаковой системы невыразимыми средствами самой этой знаковой системы; к ним относятся, например, стилистические характеристики языка, обеспечивающие наиболее успешное восприятие сообщений, характеристики допустимой сжимаемости текста, сохраняющей его понятность, критерии оптимальности структуры такого сжатого текста, индивидуальные "разрешающие" способности интерпретаторов. Прагматика предполагает максимальный учёт свойств и возможностей человеческого интеллекта и сама претендует на выявление условий, обеспечивающих успешную работу по моделированию этих свойств и возможностей.

Прагматический аспект информации – характеристика информации с точки зрения полезности, пригодности для решения задачи. При этом оценка может быть субъективной, отражая точку зрения получателя информации (**интерпретатора**). Если получатель хотя и понял поступившую информацию, но не счел ее полезной, важной, то это означает наличие **прагматического шума** - такая информация отсеивается. Проблемы прагматического отбора информации изучает **прагматика** - раздел семиотики, науки о знаках и знаковых системах. Исследования в этой области важны для проектирования информационно-поисковых систем, систем машинного распознавания образов, машинного перевода и др.

Семантическая информация - характеристика содержания, которая передаётся в некотором сообщении. При измерении семантической информации, сообщение понимается как высказывание и измеряется числом состояний универсума, при которых эта формула ложна. Это реализация идеи Г. В. Лейбница о том, что логически истинные предложения, верные во всех возможных мирах, не могут нести фактической информации. Ценность информации можно измерять через изменение вероятности достижения определённой цели, возникающее под воздействием данного сообщения. Семантическую информацию сообщения любой природы можно оценивать как степень изменения системы знаний адресата в результате восприятия данного сообщения. Эта мера одновременно оценивает новизну и доступность сообщения относительно данного адресата, тем самым такая трактовка семантической

информации является в прагматической. Отправитель сообщения тоже получает семантическую информацию, которая характеризуется возникшим у него новым знанием о состояниях тезаурусов адресатов.

Семантическая информация - информация, содержащаяся в высказывании и передаваемая через значения единиц речи

Различные по синтаксису сигналы могут иметь одинаковую семантику. Например, сигналы «ЭВМ» и «компьютер» означают электронное устройство для преобразования информации. В этом случае обычно говорят о синонимии сигналов. С другой стороны, один сигнал (т.е., информация с одним синтаксическим свойством) может иметь разную прагматику для потребителей и разную семантику. Так, дорожный знак, известный под названием «кирпич» и имеющий вполне определенную семантику («въезд запрещен»), означает для автомобилиста запрет на въезд, а на пешехода никак не влияет. В то же время, сигнал «ключ» может иметь разную семантику: скрипичный ключ, родниковый ключ, ключ для открытия замка, ключ, используемый в информатике для кодирования сигнала с целью его защиты от несанкционированного доступа (в этом случае говорят об омонимии сигнала). Есть сигналы - антонимы, имеющие противоположную семантику. Например, «холодный» и «горячий», «быстрый» и «медленный» и т.д.

В семантической теории информации под информацией принято понимать сведения, обладающие **новизной**. Возможны две ситуации. Ситуация первая - когда вам сообщают что-либо уже известное, например, что дважды два - четыре, или что после ночи наступает день. Ситуация вторая - когда вам сообщают что-либо на неизвестном вам языке, когда вы видите совершенно незнакомую математическую формулу, пусть даже имеющую богатый смысл, т.е. нечто совершенно вам непонятное. Обе ситуации можно описать при помощи выражений «известно всё» или неизвестно «ничего». Эти выражения говорят о противоположности двух описанных ситуаций. Однако у них есть и нечто общее. Этим общим является наличие всех компонентов коммуникации: источника и приёмника информации, потока информации от источника к приемнику. Однако, как в первой, так и во второй ситуации знания последнего остались без изменений, т.е. информация была передана, приёмник её получил, но обнаружить это невозможно! Если мозг приёмника не отразил никаких изменений о внешнем мире после получения сообщения, а это случилось как в первой, так и во второй ситуациях, следовательно, передачи, точнее говоря, получения информации не произошло.

Таким образом, суть семантической теории информации состоит в том, что количество информации, извлекаемое человеком из сообщения, можно определить степенью изменения его знаний. Действительно, если о получении информации судить только по изменениям в знаниях, то чем больше изменений произошло в знаниях, тем больше информации было получено.

Получение информации (её *увеличение*) одновременно означает увеличение знания, что, в свою очередь, означает *уменьшение* незнания или информационной *неопределенности*.

Неопределенность знаний о некотором событии - количество возможных результатов события.

Пылкий влюбленный, находясь в разлуке с объектом своей любви, посылает телеграмму: «Любишь?». В ответ приходит не менее лаконичная телеграмма: «Да!». Сколько информации несет ответная телеграмма? Альтернатив здесь две- либо Да, либо Нет. Их можно обозначить символами двоичного кода 1 и 0. Таким образом, ответную телеграмму можно было бы закодировать всего одним двоичным символом. Можно ли сказать, что ответная телеграмма несет одну единицу информации? Если влюбленный уверен в положительном ответе, то ответ «да» почти не даст ему никакой новой информации. То же самое относится и к безнадежно влюбленному, уже привыкшему получать отказы. Ответ «нет» также принесет ему очень мало информации. Но внезапный отказ уверенному влюбленному (неожиданное огорчение) или ответ «да» безнадежному влюбленному (нечаянная радость) несет сравнительно много информации, настолько много, что радикально изменяется все дальнейшее поведение влюбленного, а, может быть, его судьба!

Таким образом, с точки зрения на информацию как на снятую неопределенность **количество информации зависит от вероятности получения** данного сообщения. Причём, чем больше вероятность события, тем меньше количество информации в сообщении о таком событии. Иными словами, количество информации в сообщении о каком-то событии зависит от вероятности свершения данного события.

Любая информация может рассматриваться как уменьшение неопределенности наших знаний об окружающем мире (в теории информации принято говорить именно об уменьшении неопределенности, а не об увеличении объема знаний). Математически это высказывание эквивалентно простой формуле $I = H_1 - H_2$, где I - это количество информации, а H_1 и H_2 - начальная и конечная неопределенность соответственно (очевидно, что $H_1 > H_2$). Здесь, как ранее H - энтропия. Важным частным случаем является ситуация, когда некоторое событие с несколькими возможными исходами уже произошло, а, значит, неопределенность его результата исчезла. Тогда $H_2 = 0$ и формула для информации упрощается: $I = H$. Энтропия опыта равна той информации, которую мы получаем в результате его осуществления. И наоборот: информация, получаемая

из опыта, может быть вычислена через его энтропию. Очевидно, что единицы измерения информации и энтропии совпадают.

2. СВОЙСТВА СМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Характерными чертами смысловой информации являются следующие:

- 1) это наиболее важный ресурс современного производства: он снижает потребность в земле, труде, капитале, уменьшает расход сырья и энергии;
- 2) информация вызывает к жизни новые производства. Например, изобретение лазерного луча явилось причиной возникновения и развития производства лазерных (оптических) дисков;
- 3) информация является товаром, причем продавец информации её не теряет после продажи.;
- 4) информация придает дополнительную ценность другим ресурсам, в частности, трудовым.

Под информацией **в быту** (житейский аспект) понимают сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специальными устройствами. Под информацией **в технике** понимают сообщения, передаваемые в форме знаков или сигналов. Под информацией **в теории информации** понимают не любые сведения, а лишь те, которые снимают полностью или уменьшают существующую до их получения неопределенность. По определению К. Шеннона, информация – это снятая неопределенность.

Для человека информация - знания человека. Получение новой информации приводит к расширению знаний. Если некоторое сообщение приводит к уменьшению неопределенности нашего знания, то можно говорить, что такое сообщение содержит информацию. Отсюда следует вывод, что сообщение информативно (т.е. содержит ненулевую информацию), если оно пополняет знания человека. Например, прогноз погоды на завтра - информативное сообщение, а сообщение о вчерашней погоде неинформативно, т.к. нам это уже известно. Нетрудно понять, что информативность одного и того же сообщения может быть разной для разных людей. Например: « $2 \cdot 2 = 4$ » информативно для первоклассника, изучающего таблицу умножения, и неинформативно для старшеклассника. Но для того чтобы сообщение было информативно оно должно еще быть понятно. Быть понятным, значит быть логически связанным с предыдущими знаниями человека. Определение «значение определенного интеграла равно разности значений первообразной подынтегральной функции на верхнем и на нижнем пределах», скорее всего, не пополнит знания и старшеклассника, т.к. оно ему не понятно. Для того, чтобы понять данное определение, нужно закончить изучение элементарной математики и знать начала высшей.

Получение всяких знаний должно идти от простого к сложному. И тогда каждое новое сообщение будет в то же время понятным, а значит, будет нести информацию для человека. Сообщение несет информацию для человека, если содержащиеся в нем сведения являются для него новыми и понятными. Очевидно, различать лишь две ситуации: «нет информации» — «есть информация» для измерения информации недостаточно. Нужна единица измерения, тогда мы сможем определять, в каком сообщении информации больше, в каком - меньше. Единица измерения информации была определена в науке, которая называется теорией информации. Эта единица носит название «бит». Её определение звучит так: *Сообщение, уменьшающее неопределенность знаний в два раза, несет 1 бит информации.*

Пример: после сдачи зачета или выполнения контрольной работы ученик мучается неопределенностью, он не знает, какую оценку получил. Наконец, учитель объявляет результаты, и он получает одно из двух информационных сообщений: «зачет» или «незачет», а после контрольной работы одно из четырех информационных сообщений: «2», «3», «4» или «5». Информационное сообщение об оценке за зачет приводит к уменьшению неопределенности знания в два раза, так как получено одно из двух возможных информационных сообщений. Информационное сообщение об оценке за контрольную работу приводит к уменьшению неопределенности знания в четыре раза, так как получено одно из четырех возможных информационных сообщений. Неопределенность знаний о некотором событии - это количество возможных результатов события.

Целесообразность информации

Количество I получаемой вместе с сообщением информации с позиций её целесообразности (полезности) определяется по формуле:

$$I = \log \frac{p_1}{p_2}, \quad (1)$$

где p_1, p_2 – вероятности достижения цели после и до получения сообщения, соответственно.

Пример 1. Пусть вероятность p_2 сдачи экзамена по информатике до получения сообщения (подсказки от соседа) оценивается студентом со значением 0,2. После того, как ему удалось получить подсказку, вероятность сдачи

увеличилась: $p_1 = 0,8$. Определить количество информации, содержащейся в подсказке, с точки зрения ее целесообразности. В соответствии с приведенной формулой имеем: $I = \log_2(0,8/0,2) = \log_2 4 = 2$.

Пример 2. Пусть положение студента до получения подсказки оценивается аналогично предыдущему примеру. После получения подсказки, вопреки ожиданиям, вероятность сдачи еще уменьшилась, поскольку подсказка содержала неверную информацию: $p_1 = 0,1$. Определить количество информации, содержащейся в подсказке, с точки зрения ее целесообразности. В соответствии с приведенной формулой имеем: $I = \log_2(0,1/0,2) = \log_2 0,5 = -1$. Таким образом, полученная информация является дезинформацией, поскольку имеет отрицательный знак при измерении.

Количество усваиваемой потребителем информации $I_{у\text{св}}$ тесно связано с теми знаниями, которые имеет потребитель к моменту получения информации – с тезаурусом потребителя. Действительно, смысловая составляющая информации индивидуальна. (*Я, к примеру, не способен извлечь никакой информации из текста на японском языке*).

Тезаурус - совокупность сведений, которыми располагает пользователь или любая другая система.

Зависимость усваиваемой потребителем информации от его тезауруса представлена на **Рис.1**.

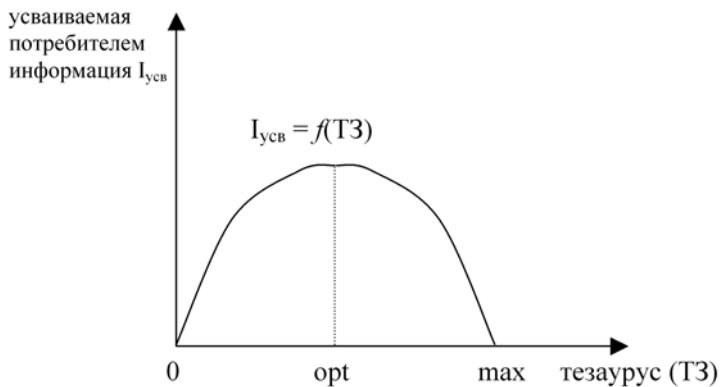


Рис.1. Зависимость усваиваемой потребителем информации от количества предыдущих знаний.

Как видно из графика, при тезаурусе, равном нулю и максимальному значению в точке *max*, информация не усваивается: в первом случае, потребителю непонятна принимаемая информация, во втором – она ему уже известна (когда человек много знает, его ничем не удивишь). Максимально усваивается

информация (т.е. она наиболее полезна) в точке *opt*, когда потребитель обладает достаточным (но не максимально возможным) тезаурусом для понимания получаемой информации. При значении тезауруса i -го потребителя $TЗ_i$ количество усваиваемой им информации определяется как $I_{у\text{св}} = f(TЗ_i)$. Сам тезаурус $TЗ_i$ может быть практически определен как результат интеллектуального тестирования, которое проводится, например, в некоторых западных странах. При таком тестировании человеку выставляется некоторый балл, который и может расцениваться как его $TЗ_i$.

Очевидно, что информативность любых сведений и сообщений существенно зависит от воспринимающего их человека, его предыдущих знаний, опыта, интересов, отношения к источнику информации и множества других факторов личного характера, т.е. по своей сути является **субъективной**.

Из графика **Рис. 1** можно сделать практический вывод, что передаваемая информация должна определенным образом соотноситься с уже имеющимися в её приёмнике сведениями, иначе данные могут оказаться бесполезными и только напрасно будут загружать каналы связи и узлы обработки.

Истинность информации

Эта мера оценивает информацию с позиций её соответствия отображаемому источнику информации, т.е. реальному миру. Пусть $r(mess)$ – функция, оценивающая истинность сообщения $mess$ как соответствие его реальному положению вещей: $0 \leq r(mess) \leq 1$, причем при $r(mess) = 1$ сообщение истинно, а при $r(mess) = 0$ сообщение ложно. Например, $r(\text{«данное пособие посвящено информатике»}) = 1$, $r(\text{«данное пособие имеет объем 5 страниц»}) = 0$. Оценить истинность сложного сообщения можно, разбив его на простые. Например, сообщение $mess$: «данное пособие посвящено информатике и имеет объем 5 страниц» можно представить как два простых сообщения $mess1$ и $mess2$:

$mess1$ - «данное пособие посвящено информатике»,

$mess2$ - «данное пособие имеет объем 5 страниц».

Тогда можно предложить рассчитывать истинность сложного сообщения как среднее арифметическое значение истинностей сообщений, его составляющих (что называют - «истинно лишь наполовину»). В таком случае имеем:

$$r(mess) = S(r(mess1) + r(mess2)) = S(1 + 0) = 0,5.$$

Качество информации

Характерной отличительной особенностью информации является дуализм: на свойства информации влияют как свойства исходных данных, составляющих ее содержательную часть, так и свойства методов, фиксирующих эту информацию.

Возможность и эффективность использования информации обуславливаются такими основными ее потребительскими показателями качества, как объективность, полнота, репрезентативность,

содержательность, достаточность, доступность, актуальность, своевременность, точность, достоверность, устойчивость, полезность, ценность, понятность, кратность и пр.

1. Репрезентативность – правильность отбора и формирования информации в целях адекватного отражения свойств объекта (источника информации). Важнейшее значение здесь имеют: 1) правильность концепции, на базе которой сформулировано исходное понятие; 2) обоснованность отбора существенных признаков и связей отображаемого явления. Нарушение репрезентативности информации приводит нередко к существенным её погрешностям.

2. Содержательность – семантическая ёмкость информации. Рассчитывается как отношение количества семантической информации к её количеству в геометрической мере (т.е. к объёму обрабатываемых данных). С увеличением содержательности информации растёт семантическая пропускная способность информационной системы, так как для получения одних и тех же сведений требуется преобразовать меньший объем данных. Это характеристика сигнала, про который говорят, что «мыслям в нём тесно, а словам просторно». В целях увеличения содержательности сигнала, например, используют для характеристики успеваемости абитуриента не полный перечень его аттестационных оценок, а средний балл по аттестату;

3. Достаточность (полнота) – минимальный, но достаточный состав данных для достижения целей, которые преследует потребитель информации (т.е. для принятия правильного решения). Эта характеристика похожа на репрезентативность, но разница в том, что в данном случае учитывается минимальный состав информации, который не мешает принятию решения. Понятие полноты информации связано с её смысловым содержанием (семантикой) и прагматикой. Как неполная, т.е. недостаточная для принятия правильного решения, так и избыточная информация снижает эффективность принимаемых пользователем решений.

4. Доступность – простота (или возможность) выполнения процедур получения и преобразования информации. Например, в информационной системе информация преобразовывается к доступной и удобной для восприятия пользователя форме. Это достигается, в частности, и путем согласования ее семантической формы с тезаурусом пользователя. Эта характеристика применима не ко всей информации, а лишь к той, которая не является закрытой. Для обеспечения доступности бумажных документов используются различные средства оргтехники для их хранения, а для облегчения их обработки используются средства вычислительной техники.

5. Актуальность – зависит от динамики изменения характеристик информации и определяется степенью сохранения ценности информации для пользователя в момент её использования. Она зависит от динамики изменения ее характеристик и от интервала времени, прошедшего с момента возникновения данной информации. **Актуальность информации** – важность для настоящего времени, злободневность, насущность. Только вовремя полученная информация может быть полезна.

6. Своевременность – поступление не позже заранее назначенного момента времени, согласованного с временем решения поставленной задачи.

7. Точность – степень близости информации к реальному состоянию объекта, процесса, явления и т.п. Для информации, отображаемой цифровым кодом, известны четыре классификационных понятия точности: 1) формальная точность, измеряемая значением единицы младшего разряда числа; 2) реальная точность, определяемая значением единицы последнего разряда числа, верность которого гарантируется; 3) максимальная точность, которую можно получить в конкретных условиях функционирования системы; 4) необходимая точность, определяемая функциональным назначением показателя.

8. Достоверность – свойство информации отражать реально существующие объекты с необходимой точностью. Эта характеристика вторична относительно точности. Измеряется достоверность информации доверительной вероятностью необходимой точности, т.е. вероятностью того, что отображаемое информацией значение параметра отличается от истинного значения этого параметра в пределах необходимой точности. На практике достоверность источника определяется уровнем поступающей от него (из него) информации. Чем выше процент подтвержденной информации (сбывшихся прогнозов, подтвержденных сообщений и т.п.), тем достовернее источник, тем выше его репутация. Репутация - вот один из главных критериев достоверности источника информации. Только не следует забывать, что человек всю жизнь может прикидываться порядочным, чтобы однажды совершить обман, дорого продав свою репутацию. Немаловажным критерием достоверности является ангажированность источника информации. Естественно, чем более независим источник, тем более объективна поступающая от него информация, а значит, и более достоверна. Еще один существенный критерий - компетентность и профессионализм. Ведь можно взять информацию с абсолютно объективного сайта, пользующегося отменной репутацией, но она в итоге окажется малодостоверной. А всё потому, что информацию по чёрной металлургии нельзя брать с

новостного сайта агропромышленного комплекса. Информация достоверна, если она отражает истинное положение дел. Объективная информация всегда достоверна, но достоверная информация может быть как объективной, так и субъективной. Достоверная информация помогает принять нам правильное решение. Недостоверной информация может быть по следующим причинам: 1) преднамеренное искажение (дезинформация) или непреднамеренное искажение субъективного свойства; 2) искажение в результате воздействия помех («испорченный телефон») и недостаточно точных средств ее фиксации.

9. Устойчивость – способность информации реагировать на изменения исходных данных без нарушения необходимой точности. Устойчивость информации, как и репрезентативность, обусловлена выбранной методикой ее отбора и формирования.

10. Объективность информации. Объективный – существующий вне и независимо от человеческого сознания. Информация – это отражение внешнего объективного мира. Информация объективна, если она не зависит от методов ее фиксации, чьего-либо мнения, суждения. Пример. Сообщение «На улице тепло» несет субъективную информацию, а сообщение «На улице 22°C» – объективную, но с точностью, зависящей от погрешности средства измерения. Объективную информацию можно получить с помощью исправных датчиков, измерительных приборов. Отражаясь в сознании конкретного человека, информация перестает быть объективной, так как, преобразовывается (в большей или меньшей степени) в зависимости от мнения, суждения, опыта, знаний конкретного субъекта.

11. Полнота информации. Информацию можно назвать полной, если ее достаточно для понимания и принятия решений. Неполная информация может привести к ошибочному выводу или решению.

12. Полезность (ценность) информации. Полезность может быть оценена применительно к нуждам конкретных ее потребителей и оценивается по тем задачам, которые можно решить с ее помощью.

Самая ценная информация – объективная, достоверная, полная, и актуальная. При этом следует учитывать, что и необъективная, недостоверная информация (например, художественная литература), имеет большую значимость для человека. Социальная (общественная) информация обладает еще и дополнительными свойствами:

- имеет семантический (смысловой) характер, т. е. понятийный, так как именно в понятиях обобщаются наиболее существенные признаки предметов, процессов и явлений окружающего мира.
- имеет языковую природу (кроме некоторых видов эстетической информации, например изобразительного искусства). Одно и то же содержание может быть выражено на разных естественных (разговорных) языках, записано в виде математических формул и т. д.

С течением времени количество информации растет, информация накапливается, происходит ее систематизация, оценка и обобщение. Это свойство назвали ростом и кумулированием информации. (Кумуляция – от *cumulatio* – увеличение, скопление).

Старение информации заключается в уменьшении ее ценности с течением времени. Старит информацию не само время, а появление новой информации, которая уточняет, дополняет или отвергает полностью или частично более раннюю. Научно-техническая информация стареет быстрее, эстетическая (произведения искусства) – медленнее.

Логичность, компактность, удобная форма представления облегчает понимание и усвоение информации.

Отметим, что такие параметры качества информации, как репрезентативность, содержательность, достаточность, доступность, устойчивость, целиком определяются на методическом уровне разработки информационных систем. Параметры актуальности, своевременности, точности и достоверности обуславливаются в большей степени также на методическом уровне, однако на их величину существенно влияет и характер функционирования системы, в первую очередь её надежность. При этом параметры актуальности и точности жестко связаны соответственно с параметрами своевременности и достоверности.

3. МЕРА СМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Создание новой информации в результате творческой деятельности человека имеет характер случайного выбора. У информации имеется два важных аспекта: первый – количество информации, рассматриваемое в равновесных условиях, второй – её ценность, определяемая необратимым процессом восприятия. Можно условно определить ценность информации как степень её избыточности. Проблема качества, смысла, содержания или ценности информации стала предметом исследования не только в биофизике, но и в технике. Будем пользоваться термином «ценность информации». Это понятие может быть определено лишь в связи с восприятием информации, поскольку мерой ценности информации являются последствия её рецепции воспринимающей системой.

Невозможно дать определение ценности информации, подобное определению её количества. В определение ценности органически входит понятие об уровне восприятия, связанное, в частности, с запасом ранее зафиксированной информации - тезаурусом рецептора. В эволюции мы постоянно встречаемся с запоминанием случайного выбора.

Вообще говоря, существуют следующие подходы к измерению информации:

1. структурный. Измеряет количество информации простым подсчётом информационных элементов, составляющих сообщение. Применяется для оценки возможностей запоминающих устройств, объемов передаваемых сообщений, инструментов кодирования без учета статистических характеристик их эксплуатации.
2. статистический. Учитывает вероятность появления сообщений: более информативным считается то сообщение, которое менее вероятно, т.е. менее всего ожидалось. Применяется при оценке значимости получаемой информации.
3. семантический. Учитывает целесообразность и полезность информации. Применяется при оценке эффективности получаемой информации и её соответствия реальности.

В предыдущей лекции мы занимались первыми двумя, теперь займёмся третьим.

В отличие от физической и технической информации, количество смысловой информации не может быть измерено: мы не можем сравнить и сказать, где больше информации: в «Войне и мире», мажорном абстракционизме или в записках битлов. Субъективный характер восприятия информации не позволяет измерять информацию весьма затруднительным. Кроме того, современным компьютерам смысл обрабатываемых данных вообще принципиально недоступен, что делает еще более призрачной надежду на решение проблемы автоматического измерения «количества» содержания, которое в этих данных заключено. Мы можем только рассуждать о полезности (и вредности) информации. Формально же (по объёму переносимых данных) мы количество информации измерить, конечно, можно (например, способом Шеннона).

Семантический подход к измерению информации учитывает целесообразность и полезность информации. Он применяется при оценке эффективности получаемой информации и её соответствия реальности. Здесь используются такие меры, как целесообразность, полезность (учитывают прагматику информации) и истинность информации (учитывает семантику информации).

При содержательном подходе к анализу информации, количество информации заключённое в сообщении, определяется объёмом знаний, который несёт это сообщение получающему его человеку. Сообщение содержит информацию для человека, если заключенные в нем сведения являются для этого человека новыми и понятными и, следовательно, пополняют его знания. При содержательном подходе возможна качественная оценка информации: полезная, безразличная, важная, вредная ... Одну и ту же информацию разные люди могут оценить по-разному

Для измерения информации вводятся два параметра: количество информации I и объем данных V_d . Эти параметры имеют разные выражения и интерпретацию в зависимости от рассматриваемой формы адекватности. Каждой форме адекватности соответствует своя мера количества информации и объёма данных (Рис. 2).

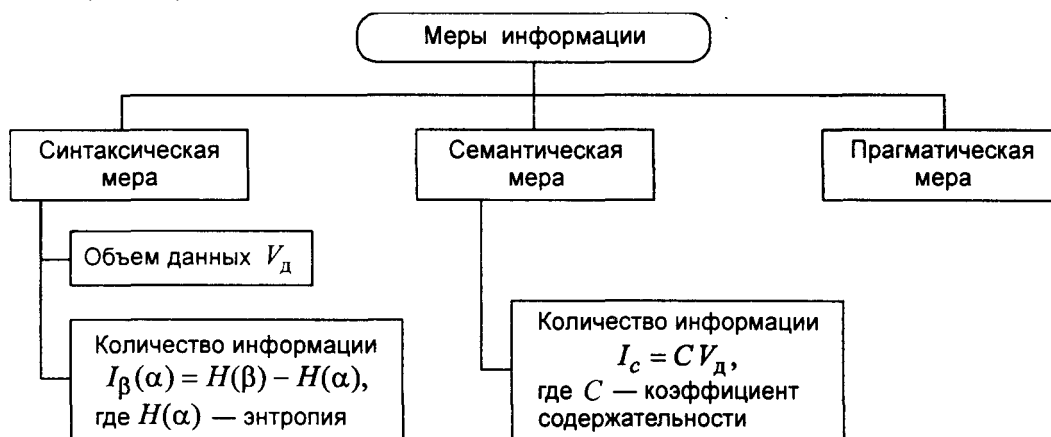


Рис. 2. Меры смысловой информации

Синтаксическая мера информации

Эта мера количества информации оперирует с обезличенной информацией, не выражающей смыслового отношения к объекту.

Объем данных V_d в сообщении измеряется количеством символов (разрядов) в этом сообщении. В различных системах счисления один разряд имеет различный вес и соответственно меняется единица измерения данных: в двоичной системе счисления единица измерения - бит; в десятичной системе счисления единица измерения — дит (десятичный разряд).

Пример. Сообщение в двоичной системе в виде восьмиразрядного двоичного кода 10111011 имеет объем данных $V_d = 8$ бит. Сообщение в десятичной системе в виде шестиразрядного числа 275903 имеет объем данных $V_d = 6$ дит.

Количество информации /на синтаксическом уровне невозможно определить без рассмотрения понятия неопределенности состояния системы (энтропии системы). Действительно, получение информации о какой-либо системе всегда связано с изменением степени неосведомленности получателя о состоянии этой системы. Пусть до получения информации потребитель имеет некоторые предварительные (априорные) сведения о системе α . Мерой его неосведомленности о системе является функция $H(\alpha)$, которая в то же время служит и мерой неопределенности состояния системы.

После получения некоторого сообщения β получатель приобрел некоторую дополнительную информацию $I_\beta(\alpha)$, уменьшившую его априорную неосведомленность так, что апостериорная (после получения сообщения β неопределенность состояния системы стала $H_\beta(\alpha)$.

Тогда количество информации $I_\beta(\alpha)$ о системе, полученной в сообщении β , определится как

$$I_\beta(\alpha) = H(\alpha) - H_\beta(\alpha), \quad (2)$$

т.е. количество информации измеряется изменением (уменьшением) неопределенности состояния системы.

Если конечная неопределенность $H_\beta(\alpha)$ обратится в нуль, то первоначальное неполное знание заменится полным знанием и количество информации $I_\beta(\alpha) = H(\alpha)$. Иными словами, *энтропия системы* $H(\alpha)$ может рассматриваться как мера недостающей информации.

Энтропия системы $H(\alpha)$, имеющая N возможных состояний, согласно формуле Шеннона, равна:

$$H(\alpha) = -\sum_{i=1}^N P_i \log P_i, \quad (3)$$

где P_i — вероятность того, что система находится в i -м состоянии.

Для случая, когда все состояния системы равновероятны, т.е. их вероятности равны, её энтропия определяется соотношением

$$H(\alpha) = -\sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log \frac{1}{N}. \quad (4)$$

$$N = m^n,$$

где N — число всевозможных отображаемых состояний; m — основание системы счисления (разнообразие символов, применяемых в алфавите); n — число разрядов (символов) в сообщении.

Пример. По каналу связи передается n -разрядное сообщение, использующее m различных символов. Так как количество всевозможных кодовых комбинаций будет $N = m^n$, то при равновероятности появления любой из них количество информации, приобретенной абонентом в результате получения сообщения, будет $I = \log N = n \log m$ - формула Хартли. Если в качестве основания логарифма принять m , то $I = n$. В данном случае количество информации (при условии полного априорного незнания абонентом содержания сообщения) будет равно объему данных $I = V_d$, полученных по каналу связи. Для неравновероятных состояний системы всегда $I < V_d = n$.

Наиболее часто используются двоичные и десятичные логарифмы. Единицами измерения в этих случаях будут соответственно бит и дит.

Коэффициент (степень) информативности (лаконичность) сообщения Y определяется отношением количества информации к объему данных. С увеличением Y уменьшаются объемы работы по преобразованию информации (данных) в системе. Поэтому стремятся к повышению информативности, для чего разрабатываются специальные методы оптимального кодирования информации.

Семантическая мера информации

Для измерения смыслового содержания информации, т.е. ее количества на семантическом уровне, наибольшее признание получила тезаурусная мера, которая связывает семантические свойства информации со способностью пользователя принимать поступившее сообщение. Для этого используется понятие тезаурус *пользователя*. В зависимости от соотношений между смысловым содержанием информации S и тезаурусом пользователя S_p изменяется количество семантической информации I_c , воспринимаемой пользователем и включаемой им в дальнейшем в свой тезаурус. Характер такой зависимости показан на **Рис. 3**. Рассмотрим два предельных случая, когда количество семантической информации I_c равно 0:

- при $S_p = 0$ пользователь не воспринимает, не понимает поступающую информацию;
- при $S_p \rightarrow \infty$ пользователь всё знает, и поступающая информация ему не нужна.

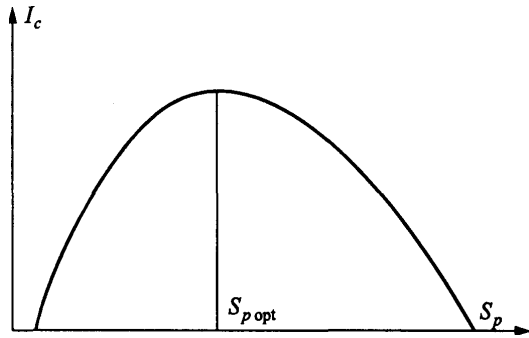


Рис. 3. Зависимость количества семантической информации, воспринимаемой потребителем, от его тезауруса $I_c = f(S_p)$

Максимальное количество семантической информации I_c потребитель приобретает при согласовании ее смыслового содержания S со своим тезаурусом S_p ($S_p = S_{p\text{opt}}$), когда поступающая информация понятна пользователю и несет ему ранее не известные (отсутствующие в его тезаурусе) сведения.

Следовательно, количество семантической информации в сообщении, количество новых знаний, получаемых пользователем, является величиной относительной. Одно и то же сообщение может иметь смысловое содержание для компетентного пользователя и быть бессмысленным (семантический шум) для пользователя некомпетентного. При оценке семантического (содержательного) аспекта информации необходимо стремиться к согласованию величин S и S_p . Относительной мерой количества семантической информации может служить коэффициент содержательности C , который определяется как отношение количества семантической информации к ее объему:

$$C = \frac{I_c}{V_d}$$

Прагматическая мера информации

Эта мера определяет полезность информации (ценность) для достижения пользователем поставленной цели. Эта мера также величина относительная, обусловленная особенностями использования этой информации в той или иной системе. Ценность информации целесообразно измерять в тех же самых единицах (или близких к ним), в которых измеряется целевая функция.

Для сопоставления введенные меры информации представим в **Табл. 1.**

Табл. 1. Единицы измерения информации и примеры

Мера информации	Единицы измерения	Примеры (для компьютерной области)
Синтаксическая: шенноновский подход компьютерный подход	Степень уменьшения неопределенности Единицы представления информации	Вероятность события Бит, байт. Кбайт и т.д.
Семантическая	Тезаурус Экономические показатели	Пакет прикладных программ, персональный компьютер, компьютерные сети и т.д. Рентабельность, производительность, коэффициент амортизации и т.д.

Прагматическая ценность использования, ёмкость памяти, производительность компьютера, скорость передачи данных и т.д. Денежное выражение. Время обработки информации и принятия решений

Характеристики ценности информации:

- ценность информации после N числа использования исчезает
- ценность любой информации определяется суммой тех материальных и духовных благ, которые может дать конкретному человеку ее использование
- ценность информации определяется ее актуальностью (своевременность), полнота достаточность для принятия решения) и достоверность

Ценность информации определяет такое соотношение ее достоверности и актуальности, которое позволяет положительно решать поставленную задачу, при этом наиболее ценная информация это та, которая обладает наибольшей степенью непредсказуемости. Ценность одной и той же информации может быть различной при решении разноплановых задач. Если информация нужна для принятия оперативного решения, то на ее ценность в первую очередь влияет актуальность; если же принимается решение стратегическое, долгосрочного характера, то главенствующую роль приобретает именно достоверность информации.

Попытки определять ценность информации предпринимались с биологических и психологических позиций, но общепринятых подходов так пока и не существует.

В биологическом аспекте полезность принимаемой информации связана с увеличением выживаемости организма или повышением успешности существования популяции. Получение организмом полезного информационного сообщения означает совершенствование инструкций его взаимодействия с окружающей средой. В психологии поведение обсуждается: не с точки зрения улучшения или ухудшения биовыживательных стратегий, а на языке мотиваций. Понятно, что в контекстах различных мотиваций, одно и то же информационное сообщение может иметь разную ценность. Вряд ли требует особого объяснения то обстоятельство, что далеко не любые мотивации подразумевают действия, объективно полезные с точки зрения выживания организма или эволюционного успеха популяции организмов.

Так или иначе, но и в биологическом и в психологическом аспектах одно и то же информационное сообщение не может быть одинаково ценным для любых реципиентов. Его полезность связана с особенностями воспринимающей стороны, а эти особенности отличаются у разных организмов и могут меняться в течение времени. Поэтому вряд ли возможно предложить способ вычисления ценности того или иного информационного сообщения в общем случае. Однако несложно определить эту величину в биологическом контексте, если отвлечься от отдельных организмов и воспользоваться популяционным подходом.

Мерой количества информации, связанной с тем или иным объектом или явлением, может служить редкость его встречаемости или сложность его структуры.

Табл. 2. Различные подходы к определению и измерению информации

	Подход к определению	Подход к измерению
в быту	разнообразные сведения, сообщения, их новизна	новизна не измеряется
в технике	сообщения, передаваемые в форме знаков и сигналов	информационная емкость = количеству символов
теория информации	снятая неопределенность	количество информации зависит от вероятности получения сообщения
теория принятия решений	увеличение вероятности достижения цели	
кибернетика(теория управления)	часть знания, используемая в управлении	
теория отражения	результат отражения, отраженное разнообразие	

Ценность информации часто определяют как степень её непредсказуемости, поэтому повторение «одной и той же информации» всегда приводит к снижению её ценности. Но повторяющиеся информационные сообщения совершенно не обязательно сразу теряют свою ценность, если они используются, например, для выработки рефлекса. Не теряют ценность и повторные сообщения, сигнализирующие о появлении одной и той же опасности.

В эволюции мы постоянно встречаемся с запоминанием случайного выбора. Согласно законам генетики установлено, что у всех живых организмов существует спонтанный мутационный процесс, мутации наследуемы и они передаются посредством редупликации следующим поколениям. Размножение -



запоминание случайного выбора - создание нового генотипа в результате рекомбинации родительских геномов, так как нет никакого закона, предписывающего появление потомства именно у данной пары особей. Биологическая иерархия: царство, тип, класс, отряд, семейство, род и вид. Ценность информации и сложность возрастают от царства к виду и достигают максимума в индивидууме.

4. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

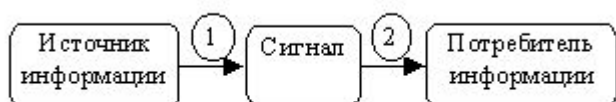
Передача информации идёт по каналу связи:

источник информации – тот элемент окружающего мира (объект, процесс, явление, событие), сведения о котором являются объектом преобразования. Так, источником информации, которую в данный момент получает читатель настоящего учебного пособия, является информатика как сфера человеческой деятельности;

потребитель информации – тот элемент окружающего мира, который использует информацию (для выработки поведения, для принятия решения, для управления или для обучения);

сигнал – материальный носитель, который фиксирует информацию для переноса её от источника к потребителю. В данном случае сигнал носит электронный характер. Если же студент возьмет распечатку данного текста, то та же информация будет иметь бумажный носитель. Будучи прочитанной и запомненной студентом, информация приобретет еще один носитель – биологический, когда она “записывается” в память обучаемого.

Структура информационного процесса



При переносе информации в виде сигнала от источника к потребителю она проходит последовательно следующие фазы (говорят – фазы обращения), составляющие информационный процесс:

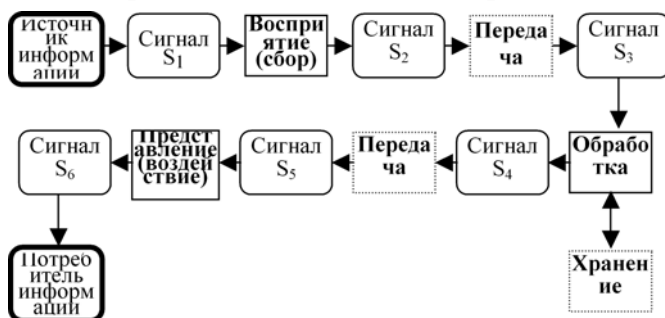
1. Восприятие (если фаза реализуется технической системой) или сбор (если фаза реализуется человеком) – осуществляет отображение источника информации в сигнал. Здесь определяются качественные и

количественные характеристики источника, существенные для решения задач потребителя информации, для чего и собирается или воспринимается информация. Совокупность этих характеристик создает образ источника, который фиксируется в виде сигнала на носителе той или иной природы (бумажном, электронном и т.п.).

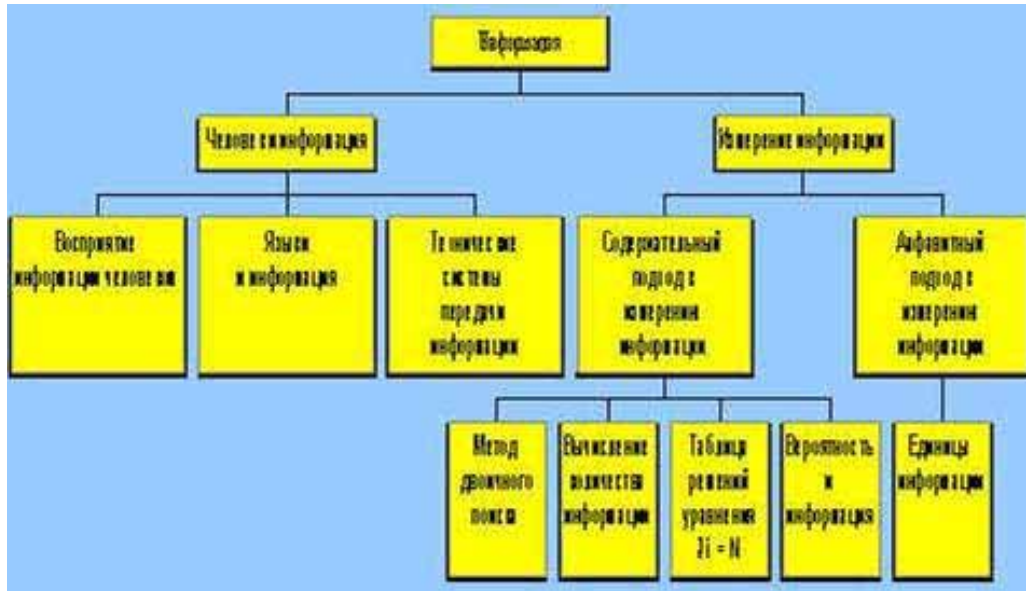
2. Передача – перенос информации в виде сигнала в пространстве посредством физических сред любой природы. Включается в информационный процесс, если места выполнения других фаз информационного процесса территориально разобщены.

3. Обработка – любое преобразование информации с целью решения определенных функциональных задач (они определяются потребителем информации). Данная фаза может включать **хранение** информации как перенос ее во времени.

4. Представление (если потребителем информации является человек) или **воздействие** (если потребителем является техническая система). В первом случае выполняется подготовка информации к виду, удобному для потребителя (графики, тексты, диаграммы, таблицы и т.д.). Во втором случае вырабатываются управляющие воздействия на технические средства. Этот случай характерен для выпускников специальности "Автоматизация управления технологическими процессами", а потому здесь не рассматривается



Схематично информационный процесс изображен на рисунке. Прямоугольниками изображены процедуры (фазы), другие фигуры обозначают объекты. Пунктирные прямоугольники показывают, что эти фазы могут отсутствовать. Как видно из рисунка, каждая фаза в общем случае преобразует (или отображает) входной сигнал в выходной. Например, при обработке сигнал S_3 преобразуется в сигнал S_4 . Это делается для удобства проведения следующей процедуры или, в последнем случае, для удобства потребителя.



5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СООБЩЕНИЯ

Информационными сообщениями могут обмениваться любые системы, состояние которых может управляться с помощью внешних данных. В качестве таких систем могут выступать не только живые существа, но и, например, компьютеры, поскольку в общем случае неважно осуществляется ли информационный обмен «по собственной воле», или же он кем-то намерено запрограммирован. Подразумевается, что для приёма управляющих данных имеются специальные рецепторы или датчики, так что те или иные, влияющие на функционирование, но непосредственно не воспринимаемые воздействия (например, сильный радиационный фон или яд, подмешанный злоумышленником в пищу), не рассматриваются в качестве информационных сообщений.



Частным случаем информационных сообщений, которыми обмениваются люди, являются мемы.

Информационное сообщение конечной протяженности, имеющее ценность - сообщение, модифицирующее некоторые особенности взаимодействия системы со средой.

Информационное сообщение может вызывать относительно кратковременные, обратимые изменения поведения системы; это происходит, когда сообщение сигнализирует об известной ситуации и подразумевает стандартную реакцию, запрограммированную устройством системы или имеющимися инструкциями, например, рефлексом или программой поведения. Такие сообщения будем называть оповещающими или индуцирующими информационными. Однако сообщение может быть и обучающим информационным сообщением, и тогда оно вызывает необратимые, или, во всяком случае, весьма длительные модификации свойств системы-реципиента. Такие модификации могут вести в дальнейшем к изменениям эволюционной траектории всей системы. Обучающее сообщение может быть одновременно и индуцирующим, однако обратное утверждение неверно.

В биологическом контексте такой подход подразумевает, что после восприятия биосистемой обучающего информационного сообщения с положительной ценностью ее способности к выживанию при некоторых условиях увеличиваются, поскольку эта биосистема приобретает новые возможности в плане использования ресурсов среды, избегания опасностей, а также иногда и в плане дальнейшего развития. Понятно, что это происходит потому, что в результате восприятия обучающего сообщения, биосистема приобретает новые стереотипы поведения, которые обеспечивают адекватность реакций на сходные сообщения из того же класса. Ценность информационного сообщения может быть и отрицательной - сообщение при этом является вредным, если оно, например, содержит какие-нибудь ложные сведения об окружающем мире.

Частным случаем информационных сообщений являются такие, которые изменяют специализацию системы-реципиента; вспоминая о технических системах, их можно назвать **переключающими**. Отличительной чертой таких сообщений является то, что они влекут сразу два последствия: появление новых свойств и потерю имевшихся, например, запоминание новых способов поведения и забывание некоторых использовавшихся ранее. С формальной точки зрения, каждое переключающее сообщение может рассматриваться как два независимых, но приходящих одновременно и вызывающих различные изменения у системы-реципиента. Эти изменения могут иметь неодинаковые по длительности последствия; для того, чтобы переключающее информационное сообщение было обучающим нужно чтобы, по крайней мере, некоторые из последствий носили долговременный характер.

6. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Распространение информации - процесс предоставления информации, имеющейся в информационно-поисковой системе, потребителям информации.

Пропаганда - распространение информации: фактов, аргументов, слухов и других сведений, в том числе заведомо ложных, для оказания воздействия на общественное мнение или иную целевую аудиторию

Слух - неподтвержденная информация, источник которой неизвестен, но при этом достаточно интересная, чтобы быть активно распространяемой.

Классически слухи передаются устным путём в виде сплетен. С удешевлением почты и появлением телеграфа, телефона и средств массовой информации темп и масштабы распространения слухов значительно

увеличились. С появлением интернета для распространения слухов используют также электронную почту и блоги.

Введенное только что представление об информационном сообщении, как нетрудно видеть, в некоторых аспектах близко к представлению о меме.

Мем - в меметике, единица культурной информации, распространяемая от одного человека к другому посредством имитации, научения и др. Мем – единица человеческой культурной эволюции, аналогичная гену в генетике. С возникновением Интернета мемы получили новую среду для распространения и легли в основу особого социального явления – интернет-мемов. Интернет-мемы обычно представляют собой информацию (тексты, ссылки), добровольно передаваемую пользователями друг другу. Обычно это делается в целях развлечения, но так же может распространяться и другая информация, в том числе провокационного или злонамеренного характера

Меметика - подход к эволюционным моделям передачи информации, основанный на концепции мемов, рассматривающей идеи как единицы культурной информации, распространяемые между людьми посредством имитации, научения и др. В настоящее время выделяется как самостоятельная научная дисциплина.

Однако между этими понятиями есть разница. Понятие информационного сообщения может быть распространено на любые, даже небиологические системы, так как не затрагиваются аспекты, связанные с человеческим интеллектом и культурной трансмиссией. Иными словами, в отличие от мема здесь, во-первых, не подразумевается наличия разумного передающего субъекта и поэтому сведения, получаемые, например, в результате наблюдения за каким-нибудь явлением природы или за показаниями приборов тоже являются информационными сообщениями. Во-вторых, не все информационные сообщения являются обучающими, в то время как в случае мемов подспудно подразумевается, что их восприятие приводит к долговременным изменениям у системы-реципиента. В третьих, не предполагается, что информационное сообщение обязательно «способствует возникновению своих копий», как у мема.

В мемах, создаваемых разумными субъектами именно для других разумных субъектов, обязательно задуманы различимые начало и конец. Поэтому, мемы, передаваемые посредством речи, записи или иной символической системы, имеют ограниченную протяженность во времени и в пространстве, чего нельзя сказать о любых информационных сообщениях. Мемы имеют также ту или иную специфическую внутреннюю структуру, от особенностей и «качества» которой зависит насколько легко и однозначно передаваемое сообщение может быть воспринято реципиентом. Наконец, мемы – это не просто произвольные реакции, «реплики» некоторого субъекта, оповещающие других субъектов о собственном состоянии или складывающейся ситуации, но обучающие информационные сообщения, выраженные средствами какой-нибудь знаковой системы. Иными словами, мемы – это не внешнее выражение физиологической функции или реакции, а специально сформированный для передачи себе подобным продукт мыслительной деятельности.

Таким образом, неявно используемая в определениях мемов парадигма о разумности реципиента детерминирует многие их особенности; когда мем создается, то в любом случае подразумевается, что он должен быть таким, чтобы заключенные в нем сведения были кому-нибудь понятны. Поскольку мемы адекватно воспринимаются лишь в рамках какого-то определенного контекста, то это тоже накладывает свой отпечаток на их свойства.

Далее под мемами будем понимать обучающие информационные сообщения конечной протяженности, создаваемые одними разумными субъектами именно для передачи другим разумным субъектам. Мемы - обучающие сообщения, создаваемые с целью передать их другим.

Очевидно, что в техническом плане для обеспечения передачи мемов необходим хотя бы один достаточно широкий канал обмена, включающий в себя передатчик, приемник и транспортную среду.

Информационные сообщения (не только мемы) могут иметь, по крайней мере, две компоненты, выполняющих различные функции. Это, во-первых, «чистые» данные и, во-вторых, инструктирующие сведения, подсказывающие способы интерпретации этих данных. Например, вполне возможна передача «чистых» данных, представляющих собой просто перечисление некоторых качеств (скажем, желтая, гладкая, холодная), которые не соотнесены с каким-либо объектом. Однако они бессодержательны до тех пор, пока не объявлен объект (авторучка), который должен описываться всеми этими качествами. Именно наличие дополнительных к данным сведений об объекте формируют здесь контекст и позволяют рассматривать последовательность передаваемых данных как содержательное информационное сообщение, в котором описаны некоторые подробности, касающиеся этого объекта. Таким образом, любые «чистые» данные вне рамок каких-либо инструкций по их интерпретации бессодержательны. В то же время прием человеком и животными только инструктирующих сведений, формирующих, например, какое-нибудь эмоциональное состояние и подготавливающих тем самым почву для выявления и приема определенного типа данных и их

интерпретации, - вполне возможное явление. Примеров этому можно найти множество, в том числе в психологии восприятия произведений искусства и в этологии.

Ту часть сведений информационного сообщения, которая инструктирует каким образом обрабатывать и использовать некоторую группу сходных по какому-то признаку данных, назовем **инструктонами**. Здесь напрашивается аналогия с известными из молекулярной биологии промоторами - специальными фрагментами ДНК, в которых записаны инструкции, управляющие процессами использования генетической информации, кодирующей конкретные. Инструктоны являются необходимыми компонентами таких информационных сообщений как мемы. При этом инструктоны способствуют интерпретации передаваемых данных, выраженных теми или иными знаковыми средствами (с помощью слов, букв, фигур, цифр и т. д.). Однако, инструктоны сами могут быть зашифрованы как данные, например, записаны словами.

При таком подходе возникает терминологическая трудность, связанная с тем, что животные тоже способны передавать друг другу, как некоторые конкретные данные, так и инструктоны, например, посредством демонстрации собственного эмоционального состояния. Другое дело, что сообщения между животными примитивнее по сравнению с сообщениями между людьми и гораздо чаще выполняют чисто оповещающую, но не обучающую роль. Однако, чести пользоваться мемами, как мы видели из приведенных выше определений, удостоен только вид *Homo sapiens*, поскольку только он способен создавать социумы, внутри которых возможна культурная трансмиссия. Поэтому, в случае общающихся «прочих земных тварей» и компьютеров, включенных в сеть, следует либо вводить еще один термин, либо всякий раз говорить об определенным образом закодированных, индуцирующих или обучающих информационных сообщениях конечной протяженности, создаваемых в ответ на ту или иную ситуацию для передачи себе подобным. Очевидно, что такого рода описание слишком тяжеловесное, чтобы быть удобным и экономнее все же ввести новый термин, например, прото-мем или промем, который и определяется так, как это только что было сказано про создаваемые для передачи информационные сообщения. Таким образом, промем содержит некоторую группу данных и инструктон, но не подразумевает культурную трансмиссию, обязательность мышления и разумность. Промем может быть обучающим, но также, в отличие от мема, и индуцирующим; посредством промемов могут общаться все, кто способен к общению, включая компьютеры. Роль инструктона в последнем случае может выполнять объявление типа данных или типа протокола передачи данных. Разумеется, промемами обмениваются и люди (например, при передаче оповещающих сообщений, при использовании атавистической системы жестикюляции, если не хватает слов, и т. п.), хотя, следует отметить, что человеческое сознание в обычных ситуациях уделяет больше внимания тому общению, которое осуществляется с помощью сложных знаковых систем, основанных чаще всего на использовании языковых средств. Иное слишком часто вытесняется в подсознание и в этом, возможно, один из недостатков современного среднего «завербализированного» человека. Таким образом, «языки» промемов - языки подсознательного, до- и внесознательного.

Инструктоны мемов вполне могут передаваться не одновременно с данными и даже вне конкретных данных, поскольку часто они обладают самостоятельной ценностью. Например, это могут быть передаваемые объяснения и инструкции. Однако, возможны и иные ситуации. В частности, способностью формировать сложные эмоции, контекст и настраивать тем самым на определенную тональность восприятия действительности обладают многие произведения искусства, в наиболее абстрактной форме, видимо, музыкальные (как писал А.Мень, мысль входит в человек «вратами чувств»). В этом плане они тоже являются инструктонами, хотя и весьма высокого уровня.

Инструктоны промемов передают сравнительно более примитивные, не связанные с человеческой культурой контексты и также могут передаваться отдельно от данных (например, индуцирование состояния тревоги). В то же время, в отличие от мема, промем иногда может быть редуцированным и не иметь инструктон. Это возможно, когда промемы используются только для передачи конкретного типа данных, а инструкции по их интерпретации уже известны системе в силу её конструктивных технических или, например, врожденных особенностей.

Уже говорилось, что в силу того, что мем это обучающее сообщение, его содержанию соответствует тот или иной образ, подразумевающий какую-нибудь долговременную, в том числе и чисто умственную, реакцию на него. Промем тоже имеет содержание, однако здесь про соответствующий образ в общем случае, очевидно, говорить уже нельзя, поскольку промемами обмениваются отнюдь не только те, кто обладает способностью к высшей нервной деятельности. Поэтому под содержанием промема будем понимать просто подразумеваемую реакцию системы-реципиента. Понятно, что эволюционный переход от промемов к мемам был связан с возникновением абстрактного мышления, оперирующего обобщенными образами объектов и событий внешнего мира. Из того, что говорилось выше, также вытекает, что индуцирующие промемы

(например, такие, которые вызывают иногда логически необъяснимое чувство страха или сексуального влечения) могут являться в свою очередь инструктонами для мемов. Отсюда просматривается наличие иерархической системы для мемов (по-видимому, последовательно разворачивающейся в процессе раннего постнатального онтогенеза человека), в основании которой находятся проемы, а ближе к вершине - мемы различного уровня вложенности и субъективной значимости, связанные с высшими психическими функциями.

Некоторые инструктоны возникли в эволюции раньше тех, весьма сложно устроенных мемов или проемов, которые содержат еще и данные. Однако, если это может быть и так в случае мемов человека и проемов многоклеточных животных, то не столь очевидна эта ситуация в молекулярной биологии. Нетрудно видеть, что система передачи данных по принципу «данные + инструктон» характерна даже для вирусов и мобильных генетических элементов (*MGE*, называемых также в части русскоязычной литературы подвижными элементами генома). Часть генетического материала вируса «обучает», инструктирует работу зараженной клетки на производство новых вирусных частиц, другая же часть содержит данные, являющиеся «проектом», по которому продуцируются новые вирусные частицы. У вирусов реализуется тот случай, когда инструктоны точно настроены только на очень конкретный тип данных проекта и, поэтому, в отсутствии таких данных как правило работать не могут.

Механизмы функционирования компьютерных вирусов имеют много аналогий с механизмами функционирования вирусов биологических. В функциональном аспекте компьютерные вирусы производят, в сущности, те же операции, что и обычные и, фактически, распространяются в виде проемов. В самом деле: компьютерный вирус является саморазмножающейся программой (точнее - комплексом нескольких, последовательно выполняемых на разных фазах его «жизненного цикла» программ более низкого уровня) и передается обычно в виде файла, имеющего спецификацию типа «исполняемый файл». Файл содержит данные о компонентах вируса, а спецификация типа (например *.exe* или *.com*) является инструкцией для операционной системы компьютера на запуск программы вируса. После её запуска компоненты встраиваются в операционную систему и начинают производить действия, необходимые для его размножения. Разворачивая аналогии в обратном направлении, можно сказать, что и обычный вирус это саморазмножающийся файл данных (хотя и записанный специфическим «биологическим» способом), который с точки зрения «операционной системы» заражаемой клетки тоже имеет спецификацию типа «исполняемый».

Несколько сложнее обстоит дело с аналогиями между распространением вирусов и мемов, но, тем не менее, выражение «психические вирусы» вошло в использование. Здесь следует помнить, что изначально термин «мем» был введен для описания процессов культурной трансмиссии и, поэтому, он обязательно представляют собой обучающее информационное сообщение, в то время как проемы могут быть и просто индуцирующими сообщениями, вызывающими ту или иную запрограммированную реакцию системы-реципиента.

Отметим ещё одно обстоятельство: создание новых мемов может предшествовать той ситуации, в которой они действительно требуются. Это связано с тем, что мемы создаются не только в связи со сложившимися обстоятельствами, но для кого-то другого. Упреждающее моделирование ситуаций и интеллектуальная деятельность (своего рода «замыкание» мозга самого на себя, когда в качестве входных данных используются воспоминания, а деятельность эффекторов ограничивается внутренним миром) является важнейшим эволюционным приобретением, позволившим человеку стать человеком и запустить новый этап эволюции биосферы.

Как информационные сообщения распространяются в человеческой популяции и насколько часто в ней самопроизвольно создаются, генерируются новые сообщения? Простейшая математическая модель для группы участников, или – сети участников, принадлежащих к некоторой однородной субпопуляции учитывает насколько ценным представляется сообщение для членов группы, а также ее численность, то есть то, со сколькими членами группы, каждый из участников процесса взаимодействует. Социальной иерархии нет, это действительно настоящая сеть, все участники равноценны, среди них нет учеников и наставников в западном понимании, но возможен более знающий, «тот, кто прошел раньше», то есть сэнсэй. Такая модель больше всего подходит для описания явлений на уровне бытовой культуры, например, применена к распространению слухов.

В рамках этой простой модели принимается, что в каждой субпопуляции взаимодействующих между собой индивидов «мир идей» - общий, что лежит в русле представлений о коллективном бессознательном и вполне вписывается в идеи буддизма. Иными словами, на сознательном ли, или же на внесознательных уровнях, но обмен идет между всеми, причем на любые темы. В пользу этого говорит то, в группе людей весьма часто усиливается интеллектуальная деятельность отдельных её членов. Не ясно почему это

происходит – потому, что в социуме постоянно существует некоторый фоновый информационный обмен между совершенно незнакомыми людьми, потому, что для обмена используются материальные носители или, напротив, неизвестные современной физике взаимодействия, или же еще как-нибудь? Можно считать, что «наполненность» упомянутого «мира идей» пропорциональна всей численности субпопуляции N , и, поэтому, вероятность производства нового сообщения (то есть выхода его на уровень сознания) тоже пропорциональна N . В итоге для скорости P_i генерации новых сообщений класса знаний i некоторым субъектом из группы, состоящей из $I_{a(i)}+1$ членов, будем иметь, что она пропорциональна NM_i :

$$P_i < p_i V_i^2 N(I_{a(i)} + I_{p(i)}), \quad (5)$$

где P_i - средняя скорость генерации новых сообщений класса i некоторым субъектом группы в единицу времени, N - численность субпопуляции, p_i - коэффициент.

Это соотношение относится к генерации новых мемов. Если же речь идет о создании промемов, например сигнализирующих о той или иной ситуации, то здесь предположение о существовании гипотетического «мира идей» вряд ли уместно, так что в общем случае для P_i будем иметь

$$P_i < p_i V_i^2 U_i(I_{a(i)} + I_{p(i)}), \quad (6)$$

где U_i - множитель, характеризующий способность генерировать промем в ответ на некоторую ситуацию в рамках представлений класса знаний i . Понятно, что U_i косвенно отражает психофизиологические особенности создателей промемов. Отметим, что ни отдельные коэффициенты U_i ни их сумма $\sum_i U_i$ (где \sum_i - сумма по всем i) вообще говоря, не пропорциональны N .

Соотношение (5) даёт возможность оценить, как новые мемы класса знаний i рождаются и распространяются внутри той или иной группы людей, включенной в некоторую более крупную субпопуляцию. Можно ввести величину $W_i = P_i D_i$, характеризующую творческую активность этой группы, а также до какой-то степени и всей субпопуляции в целом. Эта величина W_i характеризует, образно говоря, коллективную творческую силу, «творческий дух», то есть что-то вроде того, о чём так много любили рассуждать и что воспевали немецкие романтики и символисты от Фридриха Гельдерлина («...с тем необузданным духом, что в недрах земных и душах людских клокочет и бродит») до Стефана Георге («...за мглой порой звучит глухой и трудный, миров порабощенных стон подспудный»). Эта величина, очевидно, равна

$$W_i < w_i V_i^4 N I_{a(i)} (I_{a(i)} + I_{p(i)})^2, \quad (7)$$

где $w_i = d_i p_i$, а W_i характеризует скорость генерации таких сообщений класса знаний i , которые далее распространяются в некоторой группе (сети), состоящей из носителей знаний класса i и принадлежащей субпопуляции с численностью N ; эти сообщения могут изменять особенности взаимодействия членов этой группы и всей субпопуляции с окружающей средой. Если $W_i < 1$, то в группе практически не встречаются сообщения класса i и наоборот, если $W_i > 1$, то такие сообщения постоянно производятся и распространяются.

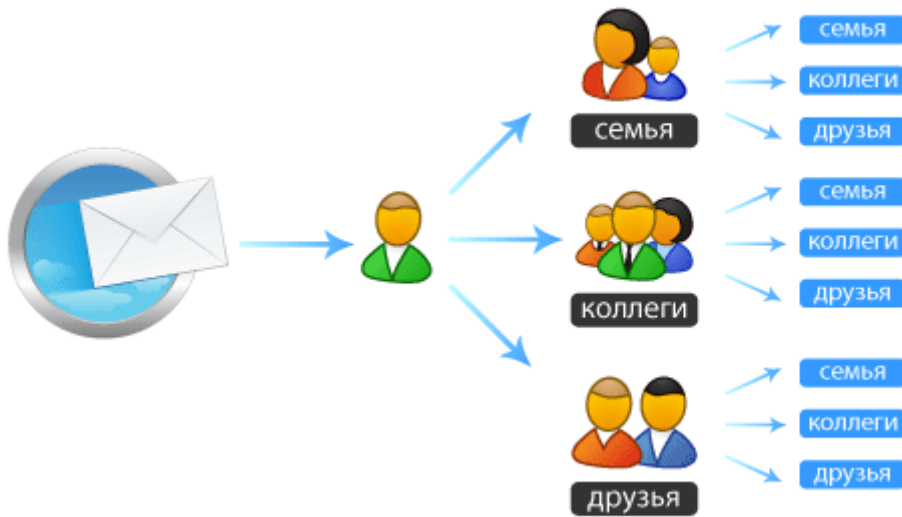
Во всех соотношениях, характеризующих распространение и генерацию новых мемов в субпопуляции людей, фигурирует не действительная апостериорная ценность информационного сообщения, а его априорная ценность, причём в степени выше первой. Велика роль априорных представлений при выборе конкретной линии поведения в той или иной ситуации, т.е. велика роль упреждающего моделирования ситуаций на основе индивидуального и коллективного опыта. Распространяются только такие сообщения, которые априорно признаются ценными членами некоторой группы. Например, сообщения, которые имеют безусловную биовыживательную ценность, но также и те, к восприятию которых члены группы уже подготовлены предшествующим опытом. Такие сообщения распространяются внутри группы очень быстро (фактически, в соответствии с механизмом цепной реакции), в то время как иные «бесполезные» идеи и сообщения практически сразу затухают. Это означает, что в каждый конкретный момент времени существует чрезвычайно высокая селективность в плане того, какие информационные сообщения производятся и распространяются как в группе, так и во всей субпопуляции.

Возникает вопрос: если создание и распространение новых мемов так сильно зависит от традиций и, в частности, используемого языка и, в ряде случаев блокирующих возникновение и развитие принципиально новых представлений, то каким образом в устоявшихся, «благополучных» этносах все же что-то принципиально новое появляется? Проводниками нового являются те «пассионарные» представители этноса, которые оказываются в состояниях социальной, экологической, культурной дезадаптации, формирующих новые контексты действительности. Появление пассионариев не только одна из причин формирования новых этносов, но и следствие нарушений условий существования сложившихся этносов.

Информационный обмен между людьми можно рассматривать на языке концепции мемов – единиц культурной трансмиссии. Инструктон содержит дополнительные, например, контекстуальные сведения, помогающие корректно дешифровать и использовать массивы передаваемых и принимаемых данных. Это

не обязательно дополнительные специфические сведения (ключи), передаваемые тем же способом или в том же формате, что и сами данные; например, эмоциональная компонента сообщения также может выступать в качестве инструктора. Все это дало возможность описывать информационный обмен между различными системами, которые используют информационные сообщения для управления своим состоянием, включая такие системы, как генетические и компьютерные.

При выборе конкретной линии поведения в конкретной ситуации огромную роль играют априорные представления о ней, основанные на индивидуальном и коллективном опыте. Производятся и распространяются такие сообщения, которые априорно признаются ценными членами некоторой группы; все прочие «бесполезные» идеи и сообщения сразу затухают и не распространяются в группе. Однако параметры, по которым происходит такая селекция, могут быть неустойчивы во времени из-за быстрых модификаций представлений об априорной ценности тех или иных сведений. В случае развитых этносов с длительной непрерывной историей имеется больше возможностей для производства знаний, которые связаны с их традиционной культурой. Для «молодых» этносов, где традиции ещё до конца не сложились и культура этноса находится на стадии становления, производство новых знаний в большей степени определяется случайными обстоятельствами, в том числе и выдающимися личностями. Появление пассионариев в сложившихся этносах не только одна из причин формирования новых этносов, но и следствие нарушений условий существования сложившихся этносов.



7. СЕКРЕТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Далеко не всякая информация имеет свойство свободно распространяться. Существует секретная информация, распространение которой карается законом и её распространению чинятся всевозможные препятствия. Сюда относится государственная тайна, коммерческая, семейная и т.п. информация.

Секретная информация - информация, не подлежащая разглашению, либо на распространение которой наложены ограничения вследствие возможного причинения вреда лицам, заинтересованным в её нераспространении, или лицам, неосведомлённым о том, что существует информация, получение которой тем или иным лицам способно привести к причинению этими лицами им ущерба. Случайное разглашение секретной информации или её распространение за пределы конфиденциальности называется утечкой.

Конфиденциальная информация - информация, доступ к которой ограничивается в соответствии с законодательством Российской Федерации и представляет собой коммерческую, служебную или личную тайны, охраняющиеся её владельцем.

Служебная тайна - защищаемая по закону конфиденциальная информация, ставшая известной в государственных органах и органах местного самоуправления только на законных основаниях и в силу исполнения их представителями служебных обязанностей, а также служебная информация о деятельности государственных органов, доступ к которой ограничен федеральным законом или в силу служебной необходимости.

Однозначное определение понятия «служебная тайна» в действующем законодательстве России отсутствует. Служебная тайна является одним из объектов гражданских прав по гражданскому законодательству РФ. Режим защиты служебной тайны в целом аналогичен режиму защиты коммерческой тайны. В ряде случаев за разглашение служебной тайны закон предусматривает уголовную ответственность (например, за разглашение тайны усыновления, или за разглашение сведений, составляющих коммерческую, налоговую или банковскую тайну, лицом, которому такие сведения стали известны по службе). Защита

конфиденциальности является одной из трёх задач информационной безопасности (наряду с защитой целостности и доступности).

С момента начала использования компьютерных технологий во всех сферах деятельности человека, появилось много проблем, связанных с защитой конфиденциальности. Главным образом это связано с обработкой документов с применением компьютерных технологий. Многие административные меры по защите конфиденциальности частных лиц и организаций утратили свою силу в связи с переходом документооборота в абсолютно новую среду.

При получении личных писем, при заключении договоров, во время деловой переписки, при телефонных разговорах со знакомыми и незнакомыми людьми, человек пользовался различными средствами аутентификации. Личные письма отправлялись с указанием существующего почтового адреса или имели штамп именно тех почтовых отделений, где проводилась обработка таких писем. При заключении договоров применялись бланки, произведённые на типографиях, на которых с использованием пишущих машинок, имевших уникальные серийные номера, печатался текст, который затем подписывался должностным лицом и заверялся печатью организации. При разговорах по телефону, достоверно было известно, что разговор ведётся именно с тем человеком, голос которого был ранее известен. Многие сотни административных мер были направлены на защиту конфиденциальности при общении людей.

С внедрением компьютерных технологий в жизнь человека многое изменилось. При использовании, например, электронной почты появилась возможность указания несуществующего обратного адреса или имитации получения письма от знакомого человека. При повседневном общении через сеть Интернет многие признаки, идентифицирующие того или иного человека в обычной жизни (пол, возраст, степень образования), перестали быть таковыми. Появилась так называемая «виртуальная реальность».

Быстро и эффективно решить проблемы связанные с защитой конфиденциальности в компьютерных системах невозможно. Появилась необходимость в комплексном подходе к решению данных проблем. Этот подход должен предполагать использование организационных и правовых мер, а также программно-аппаратных средств, обеспечивающих защиту конфиденциальности, целостности и доступности.

На сегодняшний день в организациях для обеспечения корректной работы со сведениями конфиденциального характера существует набор норм. Руководитель организации подписывает перечень сведений, имеющих конфиденциальный характер. В договоре, подписываемом работником и работодателем, существует пункт, в котором говорится об ответственности за некорректную работу с конфиденциальными сведениями, в результате чего при несоблюдении прописанных в договоре норм по работе с этими сведениями, появляется законное основание для привлечения таких сотрудников к административной или уголовной ответственности. А также в организациях имеется комплекс мер, направленных на обеспечение защиты конфиденциальных сведений. Например, такими мерами могут являться: подбор квалифицированного персонала, прогнозирование возможных угроз и проведение мероприятий по их предотвращению, использование различного уровня доступа персонала к информации с различной секретностью.

Так как невозможно детально изучить данную область в короткие сроки, было введено направление по подготовке специалистов в сфере информационной безопасности.

Коммерческая тайна - режим конфиденциальности информации, позволяющий её обладателю при существующих или возможных обстоятельствах увеличить доходы, избежать неоправданных расходов, сохранить положение на рынке товаров, работ, услуг или получить иную коммерческую выгоду (из закона РФ «О коммерческой тайне»).

Также коммерческой тайной именуют саму информацию, которая составляет коммерческую тайну, то есть, научно-техническую, технологическую, производственную, финансово-экономическую или иную информацию, в том числе составляющую секреты производства (*ноу-хау*), которая имеет действительную или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности её третьим лицам, к которой нет свободного доступа на законном основании и в отношении которой обладателем такой информации введён режим коммерческой тайны.

Обладатель информации имеет право отнести её к коммерческой тайне, если эта информация отвечает вышеуказанным критериям и не входит в перечень информации, которая не может составлять коммерческую тайну (*ст.5 закона «О коммерческой тайне»*). Чтобы информация получила статус коммерческой тайны, её обладатель должен исполнить установленные процедуры (составление перечня, нанесение грифа и некоторые другие). После получения статуса коммерческой тайны информация начинает охраняться законом.

За разглашение (умышленное или неосторожное), а также за незаконное использование информации, составляющей коммерческую тайну, предусмотрена ответственность - дисциплинарная, гражданско-правовая, административная и уголовная.

Инсайдерская информация - существенная публично нераскрытая служебная информация компании, которая в случае её раскрытия способна повлиять на рыночную стоимость ценных бумаг компании. Сюда можно отнести: информацию о готовящейся смене руководства и новой стратегии, о подготовке к выпуску нового продукта и к внедрению новой технологии, об успешных переговорах о слиянии компаний или идущей скупке контрольного пакета акций; материалы финансовой отчетности, прогнозы, свидетельствующие о трудностях компании; информация о тендерном предложении (на торгах) до его раскрытия публике и т.д. В более широком смысле - любая важная информация, известная узкому кругу близких к её источнику.

Проект Федерального закона РФ «Об инсайдерской информации» определяет понятие: *«инсайдерская информация — любая информация об эмиссионных ценных бумагах и сделках с ними, а также об эмитенте этих ценных бумаг и осуществляемой им деятельности, не известная третьим лицам, раскрытие которой может оказать существенное влияние на рыночную цену этих ценных бумаг»*

Руководство предприятия, как правило, владеет инсайдерской информацией. Другие сотрудники компании также владеют ею. Другие лица, с которыми компания может в процессе работы обмениваться соответствующими сведениями, тоже становятся инсайдерами. Такими лицами могут быть, например, адвокаты, финансовые консультанты, банкиры и пр. В большинстве стран законы о ценных бумагах содержат нормы, направленные против использования инсайдерской информации в целях дестабилизации рынка и получения ограниченным кругом лиц, имеющих к ней доступ, несправедливой прибыли. В России в Федеральном законе «О рынке ценных бумаг» (1996) используется понятие «служебная информация».

8. СРЕДСТВА МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Средство массовой информации (сокращённо «СМИ», также - **масс-медиа**) - организационно-технический комплекс, обеспечивающий быструю передачу и массовое тиражирование словесной, образной и музыкальной информации.

С течением времени рассмотрение масс-медиа как «информирующих» ушло в прошлое: в зависимости от угла рассмотрения используются эпитеты «формирующие», «развлекающие» и т. д. Развитие механизма обратной связи, то есть наличие формальной возможности влияния или выражения своего мнения со стороны слушателей, зрителей и читателей придает, масс-медиа характер не односторонней коммуникации. В связи с этим СМИ в социологии именуются как «средства массовой коммуникации».

Согласно российским источникам, СМИ имеют следующие признаки:

массовость (Применительно к законодательству РФ, 1000 и более экземпляров для газет, журналов и рассылок);

периодичность, которая не должна быть меньше одного раза в год;

принудительность: один источник сигнала (вещатель, редакция) - много слушателей.

СМИ - совокупность таких субъектов журналистской деятельности, как:

печать: газеты, журналы, альманахи, сборники, бюллетени;

телерадиовещание: радио, телевидение, кинопрограммы, видеопрограммы;

цифровые издания: электронные версии газет, издания на компакт-диске;

информационные агентства;

массовые (1000 и более конкретных адресатов) периодические рассылки с использованием телекоммуникационных сетей (как телефонной, так и сетей ЭВМ, в том числе и SMS-рассылки).

(научная интерпретация крайне неудачной статьи 24 Закона РФ от 27.12.1991 № 2124-I «О средствах массовой информации»). СМИ обязаны в России регистрироваться в органах Россохранкультуры, предоставлять в библиотеки экземпляры своей печатной продукции, либо хранить в течение 1 года записи каждого выпуска (телерадиовещание) и т.д. В то же время им предоставлены определённые права и гарантии, запрещена предварительная цензура. К СМИ в России не относятся: стенгазеты, малотиражные издания, библиотеки, Интернет в целом: интернет-блоги, чаты, форумы, конференции и т.д. Каждое из этих средств информации обладает своими особенностями в области производства и подачи сведений.

С появлением и распространением Интернета появились интернет-СМИ. Они быстро завоевали популярность, хотя их аудитория пока гораздо меньше, чем «традиционных» (как их стали называть) СМИ. Почти все СМИ имеют сайты в Интернете, на многих из них публикуются регулярно обновляемая информация: как правило, это интернет-версии тех же материалов, иногда они выходят с задержкой, иногда к материалам и/или архивам доступ является платным. Обычно основные доходы интернет-СМИ поступают также от рекламы, хотя СМИ может быть и спонсируемым как вещательный орган какой-либо организации.

9. ДЕЗИНФОРМАЦИЯ

Безусловно, бывают случаи намеренной дезинформации, бывают непреднамеренные ошибки, бывает подача информации из неверного (ненадежного) источника.

Дезинформация - сообщение заведомо ошибочных, искаженных, ложных сведений с целью ввести информируемое лицо в заблуждение.

Дезинформация – 1. Введение в заблуждение ложной информацией. 2. Заведомо ложная информация

Дезинформация - сообщение заведомо ошибочных, искаженных, ложных сведений с целью ввести информируемое лицо в заблуждение.

Дезинформация - распространение искажённых или заведомо ложных сведений.

Дезинформацией (также дезинформированием) называется один из способов манипулирования информацией, как то введение кого-либо в заблуждение путём предоставления неполной информации или полной, но уже не нужной информации, искажения контекста, искажения части информации.

Цель такого воздействия одна - оппонент должен поступить так, как это необходимо манипулятору. Поступок объекта, против которого направлена дезинформация, может заключаться в принятии нужного манипулятору решения или в отказе от принятия невыгодного для манипулятора решения. Но в любом случае конечная цель - действие, которое будет предпринято оппонентом.

Дезинформация - продукт деятельности человека, попытка создать ложное впечатление и, соответственно подтолкнуть к желаемым действиям и/или бездействию.]

Можно выделить следующие виды дезинформации

введение в заблуждение конкретного лица или группы лиц (в том числе и целой нации);

манипулирование (поступками одного человека или группы лиц);

создание общественного мнения относительно какой-то проблемы или объекта.

Введение в заблуждение это не что иное как прямой обман - предоставление ложной информации.

Манипулирование это способ воздействия направленный непосредственно на изменение направления активности людей. Выделяют следующие уровни манипулирования:

усиление существующих в сознании людей выгодных манипулятору ценностей (идей, установок...);

частичное изменение взглядов на то или иное событие или обстоятельство;

кардинальное изменение жизненных установок.

Создание общественного мнения это формирования в обществе определенного отношения к выбранной проблеме.

Процессы, связанные с поиском, хранением, передачей, обработкой и использованием информации, называются **информационными процессами**. Это - совокупность процессов, происходящих в аппаратах мышления людей (инициируемых поступающими данными), и процессов обработки данных. Информационный процесс заключается в том, что информация (в данном случае - смысл, знание), существующая в аппарате мышления одного человека (источника), с помощью данных, циркулирующих в блоках работы с данными перейти в аппарат мышления другого человека (адресата). Информация - это смысл полученного сообщения, его интерпретация. Выделение смысла - задача человека, и именно человек определяет, как интерпретирует конкретное сообщение машина любого рода. В этом смысле компьютер никогда не работает с информацией, ему нельзя её ввести и нельзя её от него получить. Компьютер всегда имеет дело с сообщениями, представленными данными. Только человек имеет возможность получить информацию на основе данных компьютера. Поэтому рассматриваемая в данном курсе информация – это понимание (смысл, представление, интерпретация), возникающее в аппарате мышления человека, после получения им данных, взаимоувязанное с предшествующими знаниями и понятиями. Поэтому информационный процесс – совокупность действий (ввод, хранение, обработка), производимых над **данными**, а не над информацией, как таковой.

В данной лекции мы рассмотрим информационную сферу и протекающие в ней процессы. Далее перейдём к способам обращения с информацией (сбор, хранение, переработка, защита и др.). Нас будут интересовать методы обращения со смысловой информацией, не требующие компьютеров (хотя, конечно, применение компьютеров значительно облегчит все обсуждаемые здесь процедуры).

Как уже упоминалось в предыдущих лекциях, информация - сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах, существующие независимо от формы их представления. Она уменьшает степень неопределенности, неполноту знаний о чём-то полезном или бесполезном.

Переработкой информации занимается информационная технология, под которой обычно понимают совокупность методов, производственных и программно-технологических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации. Информационные технологии призваны снизить трудоёмкость процесса использования информационных ресурсов. Здесь осуществляются процессы, связанные с процессами сбора, обработки, накопления, хранения, поиска и распространения информации. При этом осуществляется информационное взаимодействие двух и более субъектов с целью изменения имеющейся информации хотя бы у одного из них.

Информационные технологии базируются на информационных ресурсах, т.е. на совокупности данных, организованных для эффективного получения достоверной смысловой информации. Информационные ресурсы - отдельные документы и массивы документов, собранные в библиотеках, архивах, фондах, банках данных и т.п. Вместе они формируют информационный массив - совокупность зафиксированной информации, предназначенной для хранения и использования. Информация может быть зафиксирована в виде публикаций, отчетов, электронных записей, микрокопий и т.д.

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ СФЕРА

Информационная сфера представляет собой совокупность информации, информационной инфраструктуры, субъектов, осуществляющих сбор, формирование, распространение и использование информации, а также системы регулирования возникающих при этом общественных отношений. Информационная сфера, являясь системообразующим фактором жизни общества, активно влияет на состояние политической, экономической, оборонной и других составляющих безопасности страны.

Информационная сфера разделена на пять предметных областей: реализация права на поиск, получение, передачу и применение информации; производства, передачи и распространения исходной и производной информации; формирование информационных ресурсов, подготовка информационных продуктов, предоставление информационных услуг; создание и применение информационных систем (АИС, БД, баз знаний), других информационно- телекоммуникационных технологий; создание и применение средств и механизмов информационной безопасности.

Информационная система (ИС) - система, реализующая информационную модель предметной области, чаще всего - какой-либо области человеческой деятельности. Она должна обеспечивать: получение (ввод или сбор), хранение, поиск, передачу и обработку (преобразование) информации.

Информационная система - совокупность взаимосвязанных аппаратно-программных средств для автоматизации обработки информации. В информационную систему данные поступают от источника информации. Эти данные отправляются на хранение либо претерпевают в системе некоторую обработку и затем передаются потребителю.

Между потребителем и собственно информационной системой может быть установлена обратная связь. В этом случае информационная система называется замкнутой. Канал обратной связи необходим, когда нужно учесть реакцию потребителя на полученную информацию. Информационная система состоит из источника информации, аппаратной части ИС, программной части ИС, потребителя информации. По мнению одних авторов, ИС включает в себя персонал, её эксплуатирующий, по мнению других - нет.

Ручные информационные системы характеризуются отсутствием современных технических средств переработки информации и выполнением всех операций человеком. Например, о деятельности менеджера в фирме, где отсутствуют компьютеры, можно говорить, что он работает с ручной ИС. Автоматизированные информационные системы (АИС) - наиболее популярный класс ИС. Предполагают участие в процессе обработки информации и человека, и технических средств, причем главная роль отводится компьютеру. Автоматические информационные системы выполняют все операции по переработке информации без участия человека, различные роботы. Примером автоматических информационных систем являются некоторые поисковые машины Интернет, например *Google*, где сбор информации о сайтах осуществляется автоматически поисковым роботом и человеческий фактор не влияет на ранжирование результатов поиска. Обычно термином ИС в наше время называют автоматизированные информационные системы.

Информационные системы можно классифицировать по характеру использования информации.

- Информационно-поисковые системы - программная система для хранения, поиска и выдачи интересующей пользователя информации.
- Информационно-аналитические системы - класс информационных систем, предназначенных для аналитической обработки данных.
- Информационно-решающие системы - системы, осуществляющие переработку информации по определенному алгоритму: управляющие, советующие, ситуационные центры (информационно-аналитические комплексы)

Классификация информационных систем по архитектуре

- Локальные ИС (работающие на одном электронном устройстве, не взаимодействующем с сервером или другими устройствами)
- Клиент-серверные ИС (работающие в локальной или глобальной сети с единым сервером)
- Распределенные ИС (децентрализованные системы в гетерогенной многосерверной сети или *peer-to-peer* сети)

Информационные системы можно классифицировать и по сфере применения

- Информационные системы организационного управления - обеспечение автоматизации функций управленческого персонала.
- Информационные системы управления техническими процессами - обеспечение управления механизмами, технологическими режимами на автоматизированном производстве.
- Автоматизированные системы научных исследований - программно-аппаратные комплексы, предназначенные для научных исследований и испытаний.
- Информационные системы автоматизированного проектирования - программно-технические системы, предназначенные для выполнения проектных работ с применением математических методов.
- Автоматизированные обучающие системы - комплексы программно-технических и учебно-методических средств, обеспечивающих учебную деятельность.
- Интегрированные информационные системы - обеспечение автоматизации большинства функций предприятия.
- Экономическая информационная система - обеспечение автоматизации сбора, хранения, обработки и выдачи необходимой информации, предназначенной для выполнения функций управления.

Модельные информационные системы позволяют установить диалог с моделью в процессе ее исследования (предоставляя при этом недостающую для принятия решения информацию), а также обеспечивает широкий спектр математических, статистических, финансовых и других моделей, использование которых облегчает выработку стратегии и объективную оценку альтернатив решения. Пользователь может получить недостающую ему для принятия решения информацию путём. Использование экспертных информационных систем связано с обработкой знаний для выработки и оценки возможных альтернатив принятия решения пользователем. Реализуется на двух уровнях:

Первый уровень (концепция «типового набора альтернатив») - сведение проблемных ситуаций к некоторым однородным классам решений. Экспертная поддержка на этом уровне реализуется созданием

информационного фонда хранения и анализа типовых альтернатив. Второй уровень - генерация альтернативы на основе правил преобразования и процедур оценки синтезированных альтернатив, используя базу имеющихся в информационном фонде данных.

Информационная модель - модель объекта, представленная в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта. Информационные модели нельзя потрогать или увидеть, они не имеют материального воплощения, потому что строятся только на информации. Информационная модель – совокупность информации, характеризующая существенные свойства и состояния объекта, процесса, явления, а также взаимосвязь с внешним миром.

Информационная модель - формальная модель ограниченного набора фактов, понятий или инструкций, предназначенная для удовлетворения конкретному требованию. Можно выделить несколько типов информационных моделей, отличающихся по характеру запросов к ним: Моделирование отклика системы на внешнее воздействие; Классификация внутренних состояний системы; Прогноз динамики изменения системы; Оценка полноты описания системы и сравнительная информационная значимость параметров системы; Оптимизация параметров системы по отношению к заданной функции ценности; Адаптивное управление системой

Уровни моделей: структуры; поведения; результатов. Любая модель имеет цель. Обычно цель определяет точку зрения модели. Свойства модели: Цель, Точка зрения, Полнота, Целостность и непротиворечивость, Адекватность и согласованность с оригиналом; Сложность; Избыточность; Архитектура.

2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Процессы, связанные с поиском, хранением, передачей, обработкой и использованием информации, называются информационными процессами. Коротко остановимся на некоторых из них.

1. Поиск.

Поиск информации - это извлечение хранимой информации.

Методы поиска информации: непосредственное наблюдение; общение со специалистами по интересующему вас вопросу; чтение соответствующей литературы; просмотр видео, телепрограмм; прослушивание радиопередач, аудиокассет; работа в библиотеках и архивах; запрос к информационным системам, базам и банкам компьютерных данных; другие методы.

2. Сбор и хранение.

Сбор информации не является самоцелью. Чтобы полученная информация могла использоваться, причем многократно, необходимо ее хранить. Хранение информации - это способ распространения информации в пространстве и времени. Способ хранения информации зависит от ее носителя (книга-библиотека, картина- музей, фотография- альбом).

Компьютер предназначен для компактного хранения информации с возможностью быстрого доступа к ней. Информационная система - хранилище информации, снабженное процедурами ввода, поиска и размещения и выдачи информации. Наличие таких процедур - главная особенность информационных систем, отличающих их от простых скоплений информационных материалов. Например, личная библиотека, в которой может ориентироваться только её владелец, информационной системой не является. В публичных же библиотеках порядок размещения книг всегда строго определенный. Поэтому поиск и выдача книг, а также размещение новых поступлений представляет собой стандартные, формализованные процедуры.

3. Передача.

В процессе передачи информации обязательно участвуют источник и приёмник информации: первый передает информацию, второй её получает. Между ними действует канал передачи информации - канал связи. Канал связи - совокупность технических устройств, обеспечивающих передачу сигнала от источника к получателю. Кодировующее устройство - устройство, предназначенное для преобразования исходного сообщения источника к виду, удобному для передачи. Декодировующее устройство - устройство для преобразования кодированного сообщения в исходное. Деятельность людей всегда связана с передачей информации. В процессе передачи информация может теряться и искажаться: искажение звука в телефоне, атмосферные помехи в радио, искажение или затемнение изображения в телевидении, ошибки при передаче в телеграфе. Эти помехи (шумы), искажают информацию. Есть наука, разрабатывающая способы защиты информации - **криптология**.



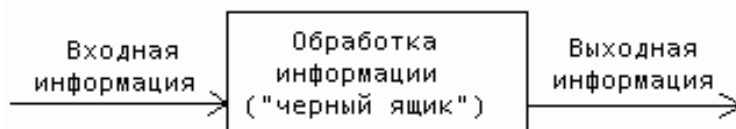
Каналы передачи сообщений характеризуются *пропускной способностью* и *помехозащищенностью*. Каналы передачи данных делятся на *симплексные* (с передачей информации только в одну сторону (телевидение)) и *дуплексные* (по которым возможно передавать информацию в оба направления (телефон, телеграф)). По каналу могут одновременно передаваться несколько сообщений. Каждое из этих сообщений выделяется (отделяется от других) с помощью специальных фильтров. Например, возможна фильтрация по частоте передаваемых сообщений, как это делается в радиоканалах. Пропускная способность канала определяется максимальным количеством символов, передаваемых ему в отсутствии помех. Эта характеристика зависит от физических свойств канала. Для повышения помехозащищенности канала используются специальные методы передачи сообщений, уменьшающие влияние шумов. Например, вводят лишние символы. Эти символы не несут действительного содержания, но используются для контроля правильности сообщения при получении. Избыточность Всё это делает литературный язык красочным, гибким, оттенками, многоплановым, многозначным.

4. Обработка.

Обработка информации - преобразование информации из одного вида в другой, осуществляемое по строгим формальным правилам.

Примеры обработки информации			
Примеры	Входная информация	Выходная информация	Правило
Таблица умножения	Множители	Произведение	Правила арифметики
Определение времени полета рейса "Москва-Ялта"	Время вылета из Москвы и время прилета в Ялту	Время в пути	Математическая формула
Отгадывание слова в игре "Поле чудес"	Количество букв в слове и тема	Отгаданное слово	Формально не определено
Получение секретных сведений	Шифровка от резидента	Дешифрованный текст	Свое в каждом конкретном случае
Постановка диагноза болезни	Жалобы пациента + результаты анализов	Диагноз	Знание + опыт врача

Обработка информации по принципу «чёрного ящика» - процесс, в котором пользователю важна и необходима лишь входная и выходная информация, но правила, по которым происходит преобразование, его не интересуют и не принимаются во внимание. «Чёрный ящик» - это система, в которой внешнему наблюдателю доступны лишь информация на входе и на выходе этой системы, а строение и внутренние процессы неизвестны.



5. Использование.

Информация используется при принятии решений.

- Достоверность, полнота, объективность полученной информации обеспечат вам возможность принять правильное решение.
- Ваша способность ясно и доступно излагать информацию пригодится в общении с окружающими.

- Умение общаться, то есть обмениваться информацией, становится одним из главных умений человека в современном мире.

Информационная культура пользователя включает в себя:

- понимание закономерностей информационных процессов;
- знание основ компьютерной грамотности;
- технические навыки взаимодействия с компьютером;
- эффективное применение компьютера как инструмента;
- привычку своевременно обращаться к компьютеру при решении задач из любой области, основанную на владении компьютерными технологиями;
- применение полученной информации в практической деятельности.

6. Защита.

Защитой информации называется предотвращение:

- доступа к информации лицам, не имеющим соответствующего разрешения (несанкционированный, нелегальный доступ);
- непредумышленного или недозволенного использования, изменения или разрушения информации.

Под защитой информации, в более широком смысле, понимают комплекс организационных, правовых и технических мер по предотвращению угроз информационной безопасности и устранению их последствий происходит обработка информации.

3. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Человек черпает информацию из различных источников: из рассказов родителей, лекций преподавателей, слухов, рекламы, книг, журналов, газет, писем, радио, телевидения и т.д. и т.п.

2.1 Виды источников информации

Письменные источники информации бывают следующих видов.

Первичный источник - это документ или человек, предоставляющие прямые доказательства фактам, иными словами, источник, предельно близкий к описываемой ситуации. Чаще всего под этим имеется в виду текст, полученный от участника какого-либо события или его непосредственного наблюдателя. Это может быть официальное заявление, репортаж журналиста с места событий, автобиографическое произведение. Статистика, собранная авторитетным агентством, также может служить в качестве первичного источника. Для корректного использования многих первоисточников, особенно в области истории, требуется специальная подготовка. В статьях можно использовать первичные источники, только если они были опубликованы в надёжном источнике.

Вторичный источник описывает один или несколько первичных. Вторичные источники в виде научных статей и книг, изданных в научных издательствах (в особенности опубликованных в научных журналах), тщательно проверяются и, как правило, содержат достоверную информацию, что позволяет использовать их в качестве авторитетных источников.

Третичный источник, в свою очередь, обобщает вторичные (пример - энциклопедия. Википедия).

Наиболее авторитетный источник — статья в уважаемом научном журнале. В отличие от книги, которую может каждый опубликовать за свой счёт, или за счёт друга-издателя, статьи в таких журналах проходят экспертизу, осуществляемую ведущими учёными. Официально признанный список российских журналов такого уровня можно найти на сайте Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки РФ. Публикации в зарубежных журналах можно найти, пользуясь специализированной поисковой системой *Google Scholar*. Хотя лишь относительно небольшое количество полных текстов статей доступно бесплатно, можно ознакомиться с их аннотациями (*abstract*). Также можно пользоваться системой *elibrary.ru*, а также поисковой системой издательского дома *Elsevier*.

Оценка достоверности книги представляет некоторые трудности, так как большинство из них не проходят научной экспертизы. С большим доверием следует относиться к книгам, опубликованным: Издательствами крупных российских вузов и институтов РАН, РАО, РАМН авторами, являющимися уважаемыми экспертами в данной области

2.2 Словарь

Разные источники по-разному определяют словарь:

словарь - справочная книга, содержащая собрание слов (или морфем, словосочетаний, идиом и т.д.), расположенных по определённому принципу, и дающая сведения об их значениях, употреблении, происхождении, переводе на др. язык и т.п. (лингвистические словари) или информацию о понятиях и предметах, ими обозначаемых, о деятелях в каких-либо областях науки, культуры и др. (Новый энциклопедический словарь. М., 2000);

словарь, словник, словотолковник, словотолк, словарик, словарчик; словаришка; словарища; речник, лексикон; сборник слов, речений какого-либо языка, с толкованием или с переводом. Словари бывают общие и частные, обиходные и научные (Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка);

словарь - собрание слов (обычно в алфавитном порядке), устойчивых выражений с пояснениями, толкованиями или с переводом на другой язык (Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка);

словарь - собрание слов какого-либо языка азбучным порядком или по словопроизводству расположенных (Словарь Академии Российской. СПб., 1806-1822);

словарь - книга, содержащая перечень слов, обычно с пояснениями, толкованиями или переводом на другой язык (Словарь современного русского литературного языка в 17-ти тт., 1948 -1965);

словарь - книга, содержащая перечень слов, расположенных по тому или иному принципу (например, по алфавиту), с теми или иными объяснениями (Толковый словарь русского языка в 4-х тт. под ред. Д. Н.Ушакова);

словарь - это вселенная в алфавитном порядке (Вольтер).

Любой словарь состоит из словарных статей.

Словари принято делить на два типа: энциклопедические и лингвистические.

Энциклопедические (*enkyklios paideia* - обучение по всему кругу знаний) словари содержат информацию об описываемых языковых единицах; о научных понятиях, терминах, исторических событиях, персоналиях, географии и т.п. В энциклопедическом словаре нет грамматических сведений о слове, а даётся информация о предмете, обозначаемом словом. Объект описания лингвистических словарей - языковые единицы (слова, словоформы, морфемы). В таком словаре слово охарактеризовано с разных сторон, в зависимости от целей, объёма и задач словаря: со стороны смыслового содержания, словообразования, орфографии, правильности употребления. В зависимости от того, сколько признаков слова описаны в словаре, различают словари одноаспектные и многоаспектные. Синхронические словари отражают определённый синхронический срез языка, диахронические (например, этимологические) - развитие языка.

С развитием компьютерной техники все большее распространение получают электронные словари и онлайн-словари.

2.3 Энциклопедия

Энциклопедия (*encyclopaedia* (не ранее XVI века) от *ἐγκύκλιος παιδεία* - «обучение в полном круге», *κύκλος* - круг и *παιδεία* - обучение) редко Циклопедия (новолат. *cyclopaedia* др.-греч. *κύκλιος παιδεία* - «круговое обучение») - приведённое в систему обозрение всех отраслей человеческого знания, или круг дисциплин, в совокупности составляющих отдельную отрасль знания; а также научное справочное пособие, содержащее такое обозрение наук или дисциплин (преимущественно в форме словаря).

В широком понимании, энциклопедия - сборник научных сведений и справок на различные темы, предназначенный для широкого круга читателей.

Энциклопедия в том виде, в каком мы её знаем сейчас, появилась в XVIII веке. Образцом для неё послужил словарь. Словарь содержит только слова и их определения, давая читателю минимум информации и нередко не позволяя ему понять значение и применимость термина или как данный термин относится к более широкому кругу знаний. Чтобы устранить эти недостатки, энциклопедия глубже проникает в каждый освещаемый ею предмет и содержит обзор накопленного о нём знания. Энциклопедия часто содержит много географических карт и иллюстраций, а также библиографию и статистику. Составителями энциклопедий, как и словарей, всегда были хорошо образованные и информированные эксперты.

Для составления энциклопедии важно учесть четыре главных фактора: область знаний, целевую аудиторию, способ организации и метод составления.

Энциклопедии делятся на универсальные (например, «Большая советская энциклопедия», «Британика», «Википедия»), охватывающая весь круг знаний о мире и человеке, отраслевые («Математическая энциклопедия»), региональные, проблемные, персональные. В зависимости от подготовки читателя, она не только может содержать информацию о некой определённой области знания, например, о медицине, философии, или юриспруденции, но и излагать материал более или менее специальным языком. Примером энциклопедии для специалистов может быть медицинская энциклопедия.

Способ организации энциклопедии важен для удобства её использования в качестве справочной литературы. Исторически сложилось два основных способа организации энциклопедии: алфавитный и иерархический. Алфавитная (или алфавитно-словарная, или просто словарная) организация основана на расположении отдельных не связанных между собой статей в алфавитном порядке названий их предмета. Энциклопедии, в которых информация разделена по словам и словосочетаниям, называются энциклопедическими словарями, например, 82-томный Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, 58-томный Энциклопедический словарь, Википедия. Разновидностью энциклопедий являются также энциклопедические справочники, в которых статьи представлены в предельно сжатой форме. Кроме того,

существуют энциклопедии, в которых информация разделена по отраслям знаний, например, 12-томная Детская энциклопедия. Существуют и энциклопедии смешанного типа, например, большая часть Большой советской энциклопедии построена как энциклопедический словарь, но том «СССР» построен по логическо-тематическому (иерархическому) принципу. Новые возможности для организации энциклопедии создают электронные устройства, позволяющие, например, проводить поиск по ключевым словам.

Современные средства накопления и обмена информацией создают всё новые способы для сбора, проверки, обработки и представления информации. Такие проекты как Википедия представляют собой пример новых форм энциклопедии, в которых дополнение и извлечение информации предельно упрощено.

2.4 Средства массовой информации

Средство массовой информации - средство распространения информации, характеризующееся: обращенностью к массовой аудитории; общедоступностью; корпоративным характером производства и распространения информации. К средствам массовой информации относятся: - пресса, радио, телевидение; - кинематограф, звукозаписи и видеозаписи; - видеотекст, телетекст, рекламные щиты и панели; - домашние видеоцентры, сочетающие телевизионные, телефонные, компьютерные и другие линии связи.

Средства массовой информации (сокращённо «СМИ», также - масс-медиа) - организационно-технические комплексы, которые обеспечивают быструю передачу и массовое тиражирование словесной, образной и музыкальной информации.

В современной социологии по отношению к СМИ используется термин «средства массовой коммуникации», более точно отражающий характер масс-медиа. С течением времени рассмотрение масс-медиа как «информирующих» ушло в прошлое: в зависимости от угла рассмотрения используются эпитеты «формирующие», «развлекающие» и т. д. Развитие механизма обратной связи, т. е. наличие формальной возможности влияния или выражения своего мнения со стороны слушателей, зрителей и читателей придает, масс-медиа характер не однонаправленной коммуникации. В связи с этим СМИ в социологии именуются как «средства массовой коммуникации».

СМИ имеют следующие признаки: массовость (в законе РФ - 1000 и более экземпляров газет, журналов и рассылок); периодичность – не менее одного раза в год; принудительность: один источник сигнала (вещатель, редакция) - много слушателей. СМИ - совокупность таких субъектов журналистской деятельности, как: печать: газеты, журналы, альманахи, сборники, бюллетени; телерадиовещание: радио, телевидение, кинопрограммы, видеопрограммы; цифровые издания: электронные версии газет, издания на компакт-диске; информационные агентства: массовые (1000 и более адресатов) периодические рассылки с использованием телекоммуникационных сетей (как телефонной, так и сетей ЭВМ, в том числе и SMS-рассылки).

СМИ обязаны в России регистрироваться в органах Росохранкультуры, предоставлять в библиотеки экземпляры своей печатной продукции, либо хранить в течение 1 года записи каждого выпуска (телерадиовещание) и т. д. В то же время им предоставлены определённые права и гарантии, запрещена предварительная цензура. К СМИ в России не относятся: стенгазеты, малотиражные издания, библиотеки, Интернет в целом: интернет-блоги, чаты, форумы, конференции и т. д. Каждое из этих средств информации обладает своими особенностями в области производства и подачи сведений.

3. ТРАДИЦИОННЫЕ ХРАНИЛИЩА ИНФОРМАЦИИ

3.1 Библиотека

В течение сотен лет люди искали информацию в библиотеках.

Библиоте́ка (греч. βιβλιοθήκη, от βιβλίον «книга» и θήκη «место хранения») - учреждение, собирающее и хранящее произведения печати и письменности для общественного пользования, а также осуществляющее справочно-библиографическую работу. В настоящее время всё более распространяются и входят в фонд библиотеки микрофиши, микрофильмы, аудио- и видеокассеты, диапозитивы, оптические носители (например, CD-ROM).

Библиотека - по законодательству РФ - информационное, культурное, образовательное учреждение, располагающее организованным фондом тиражированных документов и предоставляющее их во временное пользование физическим и юридическим лицам. Библиотека может быть самостоятельным учреждением или структурным подразделением предприятия, учреждения, организации.

Национальная библиотека призвана обеспечить сохранность и доступность всей печатной и смежной продукции, выпущенной и выпускаемой данным государством или имеющей к нему то или иное отношение, могущей быть востребованной читателями. Для обеспечения полноты фонда национальной библиотеки во многих странах используется система обязательного экземпляра. В России функции национальной библиотеки выполняют Российская государственная библиотека (быв. имени Ленина) в Москве и

Российская национальная библиотека в Санкт-Петербурге. Региональные библиотеки выполняют роль филиалов национальной библиотеки, что особенно актуально для отдалённых регионов страны. В России особенно важную роль играют несколько региональных библиотек Урала и Сибири, наряду с двумя национальными библиотеками наделённых правом получения обязательного экземпляра.

Библиотечный каталог - совокупность расположенных по определенным правилам библиографических записей на документы, раскрывающая состав и содержание фонда библиотеки или информационного центра. Библиотечный каталог может функционировать в карточной или машиночитаемой форме, на микроносителях, а также в форме книжного издания.

Публичные библиотеки обеспечивают читателей наиболее употребительными и популярными изданиями. Специальные библиотеки собирают издания определённого типа (нотные издания, книги для слепых, государственные стандарты, патенты, предсказания на пальмовых листьях и т. п.) или определённой тематики. Необходимость специальных библиотек в ряде случаев вызывается особыми условиями хранения изданий и пользования ими, но по большей части связана с невозможностью сосредоточить слишком большое количество изданий в одном помещении и обеспечить работу в одном учреждении высококвалифицированных специалистов по слишком разным отраслям книжного дела. В России в последние десятилетия особенно важную роль стала играть Всероссийская Государственная библиотека иностранной литературы, взявшая на себя ряд периферийных для библиотеки функций и превратившаяся благодаря этому в крупный культурный центр. Библиотеки для слепых обеспечивают доступ к информации для слепых и слабовидящих читателей. Такие библиотеки содержат книги, набранные рельефным шрифтом Брайля и аудиокниги на разных носителях. Крупнейшая в России библиотека для слепых – Российская Государственная библиотека для слепых. Помимо книг, набранных рельефным шрифтом и аудиокниг, она содержит большую коллекцию рельефно-объёмных моделей, позволяющих слепым узнать облик различных объектов.

Университетские, институтские, школьные библиотеки нацелены, главным образом, на обеспечение учащихся литературой, необходимой для учебного процесса и по составу фонда приближаются к специальным. То же можно сказать и о ведомственных библиотеках. Однако, в отличие от специальных библиотек, институтские и ведомственные библиотеки не являются общедоступными и обслуживают только читателей, относящихся к соответствующему учебному заведению или ведомству. Впрочем, реализация этого принципа зависит от национальной традиции и конкретных социокультурных условий: так, в США ряд университетских библиотек обеспечивает свободный доступ к своим фондам для всех желающих.

Деятельность библиотек по обслуживанию читателей осуществляется в двух основных формах. Библиотечный абонемент предоставляет читателю право получить издание из библиотеки в своё полное распоряжение на определённый срок. В другом случае читатель имеет возможность знакомиться с книгой только в помещении библиотеки (как правило, в специально отведённом читальном зале). В некоторых библиотеках работает только абонемент или только читальный зал, в других эти формы обслуживания сочетаются, хотя не для всех единиц хранения возможны обе. Другой важной характеристикой библиотеки является структура её фонда. В большинстве случаев часть изданий (наиболее востребованная читателями) располагается в открытом доступе и может быть просмотрена читателем непосредственно у книжной полки, тогда как большинство изданий располагается в книгохранилище и может быть оттуда получено лишь через некоторое время посредством заказа по каталогу. В некоторых случаях на выдачу особо редких, повреждённых или содержащих государственную тайну изданий накладываются ограничения, требующие от читателя специального запроса или разрешения; в СССР эта практика использовалась особенно широко и вошла в историю как спецхран.

Передвижные библиотечные пункты облегчают доступ к книгам и Интернету для населения удалённых районов, жителей домов престарелых и т. п. Для доставки книг и средств связи используются автобусы, автофургоны, а в некоторых странах (Зимбабве) даже ишаки.

История библиотек

Библиотеки впервые появились на древнем Востоке. Обычно первой библиотекой называют собрание глиняных табличек, 2500 год до н. э., найденное в храме вавилонского города Ниппур. В одной из гробниц близ египетских Фив был обнаружен ящик с папирусами времени II переходного периода (XVIII-XVII вв. до н. э.). В эпоху Нового царства Рамзесом II собрано 20000 папирусов. Самая известная древневосточная библиотека - собрание клинописных табличек из дворца ассирийского царя VII века до н.э. Ашшурбанипала в Ниневии. Таблички содержат юридическую информацию. В древней Греции первая публичная библиотека была основана в Гераклее тираном Клеархом (IV века до н.э.). Крупнейшим центром античной книжности стала Александрийская библиотека. Она была создана в III веке до н.э. Птолемеем I и была центром образования всего эллинистического мира. Александрийская библиотека являлась частью комплекса

mouseïon (музей). В комплекс входили жилые комнаты, столовые помещения, помещения для чтения, ботанический и зоологический сады, обсерватория и библиотека. Позднее к нему были добавлены медицинские и астрономические инструменты, чучела животных, статуи и бюсты, которые были использованы для обучения. В *mouseïon* входило 200000 папирусов в Храме и 700000 документов в Школе. Музей и большая часть Александрийской библиотеки были уничтожены приблизительно в 270 году нашей эры.

В Средние века очагами книжности были монастырские библиотеки, при которых действовали скриптории. Там переписывалось не только Священное писание и сочинения Отцов Церкви, но и произведения античных авторов. В эпоху Ренессанса деятели Возрождения, буквально, охотились за сохранявшимися в монастырях греческими и латинскими текстами. Из-за огромной стоимости манускриптов и трудоёмкости их изготовления книги приковывались к библиотечным полкам цепями.

Появление книгопечатания внесло огромные изменения в облик и деятельность библиотек, все более теперь отличавшихся от архивов. Библиотечные фонды начинают стремительно разрастаться. С распространением грамотности в Новое время растёт также число посетителей библиотек.

Наиболее известные библиотеки: Ватиканская апостольская библиотека, Французская национальная библиотека (Париж), Амброзианская библиотека (Милан), библиотека Лауренциана (Флоренция), Библиотека Конгресса (Вашингтон), Британская библиотека (Лондон, первая в мире по количеству единиц хранения, на сегодняшний день располагает 150 млн ед.), Библиотека Бодлея (Оксфорд - старейшая публичная библиотека в мире), Кембриджская университетская библиотека, Королевская библиотека в Копенгагене, Государственная библиотека в Берлине, Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург), Исторические частные собрания Восточной Европы: Валленродская библиотека и библиотека Залуских, Библиотека монастыря св. Галла (Швейцария), палатинская библиотека (Гейдельберг), Королевская библиотека Бельгии, библиотека Харьковского политехнического университета.

Библиотеки в Москве: Российская государственная библиотека, Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы, Государственная публичная научно-техническая библиотека России (ГПНТБ), Фундаментальная библиотека Института научной информации по общественным наукам РАН, Библиотека по естественным наукам РАН, Научная библиотека МГУ, Российская государственная юношеская библиотека, Библиотека-читальня им. И.С.Тургенева, Центральная городская библиотека имени Н.А.Некрасова и др.

3.2 Музей

Музе́й (от греч. *μουσείον* — дом Муз) — учреждение, занимающееся собиранием, изучением, хранением и экспонированием предметов — памятников естественной истории, материальной и духовной культуры, а также просветительской и популяризаторской деятельностью.

Сначала это понятие обозначало коллекцию предметов (экспонатов) по искусству и науке, затем, с XVIII века, оно включает в себя также здание, где располагаются экспонаты. С XIX века присоединилась научно-исследовательская работа, проводимая в музеях. А с шестидесятых годов XX века началась педагогическая деятельность музеев (специальные проекты для детей, подростков и взрослых). С развитием компьютерной техники и Интернета появились также виртуальный музей на CD-ROM или в Интернете. В 1946 была создана международная организация **ICOM** (*International Council of Museums*) для поддержки и развития деятельности музеев. Эта организация включает в себя более 7000 участников из 119 стран мира и тесно работает с ЮНЕСКО и другими международными организациями.

3.3 Архив

Архи́в (греч. *ἀρχεῖον*) - учреждение или структурное подразделение учреждения, организации или предприятия, осуществляющее приём, комплектование и хранение архивных документов в интересах пользователей.

Архивы различаются как:

- 1) государственные правительственные архивы, текущие, устроенные при каждом правительственном установлении и выделяющие свои документы; правительственные исторические архивы;
- 2) общественные, общинные и частные архивы, выделяющие свои документы, сделавшиеся историческими, или в правительственные, или в отдельные исторические архивы;
- 3) те и другие, как правительственные, так общественные, общинные и частные, как исторические, так и текущие, если включают в себе юридические документы, получают особый характер и значение по связи их как с нотариатом, так и с юридическим значением тех выписей, которые могут быть выдаваемы из архивов.

Администрация архивного дела стремится:

- 1) все существующие в стране архивы (правительственные, общинные и общественные) привести в надлежащий порядок, установив точные правила относительно устройства архива и порядка ведения дел, и поставить за всеми архивами правительственный надзор;
- 2) все исторические архивы связать в одно целое, установив точный порядок выделения из всех текущих архивов документов в ближайший исторический архив, создавая для достижения этой цели центральное управление историческими архивами;
- 3) при центральном управлении сосредоточить общий инвентарь всех документов, хранящихся во всех исторических архивах;
- 4) завязать сношения с центральными управлениями исторических архивов других государств, чтобы могло родиться единение исторических архивов целого мира, обеспечивающее возможность собрать полные исторические данные по вопросам, занимающим правительства или учёных.

Архивы России: Государственный архив Российской Федерации, Российский государственный архив древних актов, Российский государственный архив кинофотодокументов, Российский государственный архив экономики, Главархив Москвы и др.

4. БАЗЫ ДАННЫХ И БАЗЫ ЗНАНИЙ

Высшей формой информации, проявляющейся в управлении в социальных системах, являются **знания**. Это наддисциплинарное понятие, широко используемое в педагогике и исследованиях по искусственному интеллекту, также претендует на роль важнейшей философской категории. В философском плане познание следует рассматривать как один из функциональных аспектов управления. Такой подход открывает путь к системному пониманию генезиса процессов познания, его основ и перспектив.

Информация (речь идёт о смысловой информации) - совокупность сведений о предметах, явлениях или процессах, представляющая интерес и подлежащая обработке, или информация - это значения данных с определенными условностями. Информация - результат взаимодействия материальных предметов, передаваемый по материальному каналу. Смысловая информация - поток сведений, сообщенный кем-то или полученный в результате исследования, анализа или обучения. Информация первична по отношению к знаниям, она несёт всё необходимое для знаний.

Знание - это проверенный практикой результат познания действительности, верное отражение её, в конечном счёте, в мышлении человека. Знание - это зафиксированная информация в памяти человека, общества или технического устройства. Формализованное определение знания гласит: знание - это представление фактов, утверждений о фактах или правило получения утверждений о фактах из имеющихся фактов. Информация - это поток сообщений, передаваемых по материальному каналу для динамического воздействия на систему, человека или общество, знание - это фиксированное сообщение, которое воздействует на систему, общество или человека, в конечном счёте.

Сообщение - наименьший элемент языка, имеющий идею или смысл, пригодный для общения. В информатике - форма представления информации, имеющая признаки начала и конца, предназначенная для передачи через среду связи. Также форма предоставления информации, совокупность знаков или первичных сигналов, содержащих информацию. Обычно сообщение передается в виде предложения или условного знака. Конкретная форма сообщения называется представлением. Одно и то же сообщение может быть представлено различными способами. Переход от представления к значению сообщения называется интерпретацией. Жизненный цикл сообщения выглядит следующим образом: Отправитель кодирует идею или мысль в сообщение,

передаёт сообщение через среду общения получателю. Получатель получает сообщение и декодирует смысл.

Значение — ассоциативная связь между знаком и предметом обозначения. Изучается семиотикой, в особенности в рамках семантики (в отличие от разделов, посвящённых вопросам отношений между знаками и составляющих проблемную область синтаксиса). В математике употребляется как синоним величины или для обозначения результата (например, значение функции)

Интерпретация совокупность смыслов, придаваемых элементам теории. В математике, логике, методологии науки, теории познания: совокупность значений (смыслов), придаваемых тем или иным способом элементам (выражениям, формулам, символам и т. д.) какой-либо естественнонаучной или абстрактно-дедуктивной теории (в тех же случаях, когда такому «осмыслению» подвергаются сами элементы этой теории, то говорят также об интерпретации символов, формул и т. д.). Понятие интерпретации имеет большое гносеологическое значение:

Сопоставление информации и знания:

Информация	Знание
1. Любое сообщение любой природы, поток сообщений	Отсортированное и зафиксированное сообщение
2. Связи между элементами сообщения не так существенны	Связи между элементами сообщения должны допускать осмысленность
3. Статистически определенные сообщения из-за их разнообразия	Важна точность определения сообщения
4. Допускается произвольное представление элементов	Допускаются только точные представления для получателя
5. Изучается для понимания процессов обработки сообщений	Изучается для понимания процессов познания сообщений
6. Важна динамика передачи сообщений во времени	Важно статическое представление итоговых сообщений
7. Имеется прямая связь с системой сигналов в системе управления	Важна систематизация сообщений, формируемая системой

Управление знаниями трактует знание как форму информации, которая наполнена контекстом, основанном на опыте. Информация - это данные, которые существенны для наблюдателя из-за их значимости для наблюдателя. Данные могут быть предметом наблюдения, но не обязательно должны быть им. В этом смысле знание состоит из информации, подкрепленной намерением или направлением.

Научному знанию присущи логическая обоснованность, доказательность, воспроизводимость познавательных результатов.

Для хранения информации организуются базы данных и базы знаний.

Данные – сведения, полученные путем измерения, наблюдения, логических или арифметических операций, и представленные в форме, пригодной для постоянного хранения, передачи и (автоматизированной) обработки.

Документ - материальный объект с зафиксированной на нем информацией в виде текста, звукозаписи или изображения, предназначенный для передачи во времени и пространстве в целях хранения и общественного использования. Документ обязательно содержит реквизиты, позволяющие однозначно идентифицировать, содержащуюся в нем информацию.

Базы данных – набор данных, который достаточен для установления цели и представлен на машинном носителе в виде, позволяющем осуществлять автоматизированную переработку содержащейся в нём информации.

База данных - структурированный организованный набор данных, описывающих характеристики каких-либо физических или виртуальных систем. Различают набор данных (собственно база данных) и программное обеспечение, предназначенное для организации и ведения базы данных.

База данных - совокупность связанных данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования, независимая от прикладных программ. База данных является информационной моделью предметной области. Обращение к базам данных осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД).

Государственная база данных - в России - база данных, созданная, приобретенная или накапливаемая за счет или с привлечением средств федерального бюджета.

Банк данных - автоматизированная информационная система централизованного хранения и коллективного использования данных. В состав банка данных входят одна или несколько баз данных, справочник баз данных, СУБД, а также библиотеки запросов и прикладных программ.

Банк данных – автоматизированная информационно-поисковая система, состоящая из одной или нескольких баз данных и системы хранения, обработки и поиска информации в них.

Управление данными - процесс, связанный с накоплением, организацией, запоминанием, обновлением, хранением данных и поиском информации.

Система управления базами данных - комплекс программных и лингвистических средств общего или специального назначения, реализующий поддержку создания баз данных, централизованного управления и организации доступа к ним различных пользователей в условиях принятой технологии обработки данных. СУБД характеризуется используемой моделью, средствами администрирования и разработки прикладных процессов. СУБД обеспечивает: - описание и сжатие данных; - манипулирование данными; - физическое размещение и сортировку записей; - защиту от сбоев, поддержку целостности данных и их восстановление; - работу с транзакциями и файлами; - безопасность данных. СУБД определяет модель представления данных.

Структура базы данных - принцип или порядок организации записей в базе данных и связей между ними.

Структура данных - организационная схема записи или массива, в соответствии с которой упорядочены данные, с тем, чтобы их можно было интерпретировать и выполнять над ними определенные операции.

Тип данных - характеристика набора данных, которая определяет: - диапазон возможных значений данных из набора; - допустимые операции, которые можно выполнять над этими значениями; - способ хранения этих значений в памяти. Различают: - простые типы данных: целые, действительные числа и др.; - составные типы данных: массивы, файлы и др.

Хранение данных - процесс обеспечения целостности, доступности и защищенности данных. Различают три режима

хранения данных: 1) хранение в оперативном режиме, основанное на использовании постоянно доступных запоминающих устройств; 2) хранение в почти оперативном режиме, основанное на использовании устройств, которые могут стать доступными автоматически; 3) хранение в автономном режиме, основанное на использовании устройств, носители данных в которые вставляются вручную.

Знание - проверенный практикой и удостоверенный логикой результат познания действительности, отраженный в сознании человека в виде представлений, понятий, суждений и теорий. Знания формируются в результате целенаправленного педагогического процесса, самообразования и жизненного опыта.

Знания - в информатике - вид информации, отражающей опыт специалиста (эксперта) в определенной предметной области, его понимание множества текущих ситуаций и способы перехода от одного описания объекта к другому. Для знания характерна внутренняя интерпретируемость, структурированность, связанность и активность.

База знаний - семантическая модель, описывающая предметную область и позволяющая отвечать на такие вопросы из этой предметной области, ответы на которые в явном виде не присутствуют в базе. База знаний является основным компонентом интеллектуальных и экспертных систем.

База знаний (БЗ) - особого рода база данных, разработанная для управления знаниями, т. е. сбором, хранением, поиском и выдачей знаний.

Раздел искусственного интеллекта, изучающий базы знаний и методы работы со знаниями, называется инженерией знаний. Наиболее важный параметр базы знаний - качество содержащихся знаний. Лучшие базы знаний включают самую релевантную и свежую информацию, имеют совершенные системы поиска информации и тщательно продуманную структуру и формат знаний.

В зависимости от уровня сложности систем, в которых применяются базы знаний, различают:

БЗ всемирного масштаба - например, Интернет

БЗ национальные - например, Википедия

БЗ отраслевые— например, Химическая энциклопедия

БЗ организаций

БЗ экспертных систем

БЗ специалистов

Методы построения и управления как базами данных, так и базами знаний мы подробнее рассмотрим в главах, посвященных компьютерам.

5. ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Стремление зафиксировать, сохранить надолго свое восприятие информации было всегда свойственно человеку. Мозг человека хранит множество информации, и использует для хранения ее свои способы, основа которых — двоичный код, как и у компьютеров. Человек всегда стремился иметь возможность поделиться своей информацией с другими людьми и найти надежные средства для ее передачи и долговременного хранения. Для этого в настоящее время изобретено множество способов хранения информации на внешних (относительно мозга человека) носителях и её передачи на огромные расстояния.

Хранение информации - это способ распространения информации в пространстве и времени. Способ хранения информации зависит от ее носителя (книга — библиотека, картина — музей, фотография - альбом).

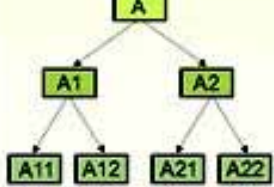
Этот процесс такой же древний, как и жизнь человеческой цивилизации. Уже в древности человек столкнулся с необходимостью хранения информации: зарубки на деревьях, чтобы не заблудиться во время охоты; счет предметов с помощью камешков, узелков; изображение животных и эпизодов охоты на стенах пещер. С рождением письменности возникло специальное средство фиксирования и распространения мысли в пространстве и во времени. Родилась документированная информация - рукописи и рукописные книги, появились своеобразные информационно-накопительные центры - древние библиотеки и архивы. Постепенно письменный документ стал и орудием управления (указы, приказы, законы). Вторым информационным скачком явилось книгопечатание. С его возникновением наибольший объем информации стал храниться в различных печатных изданиях, и для её получения человек обращается в места их хранения (библиотеки, архивы и т. д.).

Типы баз данных

Тип базы данных определяется способом организации данных и связей между ними.

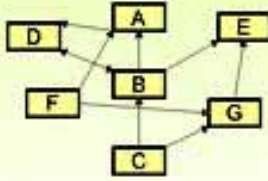
Иерархические базы данных

Иерархические базы данных представляют собой ориентированный граф - "дерево", у которого имеется только одна вершина, не подчиненная никакой другой; при этом другая вершина подчинена лишь только одной вышестоящей вершине. Поиск какого-либо элемента данных в такой системе может оказаться довольно трудоемким из-за необходимости последовательно проходить несколько иерархических уровней. Пример: файловая система компьютера.



Сетевые базы данных

Сетевая БД имеет внутренние ссылки между структурами данных.



В сетевых БД существует возможность устанавливать дополнительные горизонтальные связи. Это облегчает процесс поиска нужных элементов данных, так как уже не требует обязательного прохождения нескольких иерархических ступеней.

Реляционные базы данных

Реляционные БД представляют связанную между собой совокупность таблиц баз данных (ТБД). Каждая строка таблицы содержит информацию об одном отдельном объекте описываемой в БД системы (о конкретном товаре, покупателе и пр.), а каждый столбец определяет определенные характеристики (свойства, атрибуты) этих объектов. Например, атрибутами объектов могут быть наименование покупателя или товара, дата покупки, количество купленного товара и пр. Строки такой таблицы называются записями, а столбцы - полями.

Записи		Поле	
Покупатель	Дата	Товар	Количество
Герман. ТОО	12.01.00	Сахар	340
Базис №28	14.02.00	Мука	600
Герман. ТОО	15.02.00	Сахар	100
Пашпорт	15.02.00	Рис	120

Реляционные БД в 70-х годах практически вытеснили БД других видов. Основной причиной является сложность организации данных и связей в иерархических и сетевых БД.

В жизни человека процесс длительного хранения информации играет большую роль и подвергается постоянному совершенствованию. Когда объем накапливаемой информации возрастает настолько, что ее становится просто невозможно хранить в памяти, человек начинает прибегать к помощи различного рода записных книжек, указателей и т. д. Различная информация требует разного времени хранения: проездной билет надо хранить только в течение поездки; программу телевидения - текущую неделю; школьный дневник - учебный год; аттестат зрелости - до конца жизни; исторические документы - несколько столетий. Компьютер предназначен для компактного хранения информации с возможностью быстрого доступа к ней.

Хранение очень больших объемов информации оправдано только при условии, если поиск нужной информации можно осуществить достаточно быстро, а сведения получить в доступной форме. Информационная система - это хранилище информации, снабженное процедурами ввода, поиска и размещения и выдачи информации. Наличие таких процедур - главная особенность информационных систем, отличающих их от простых скоплений информационных материалов. Например, личная библиотека, в которой может ориентироваться только её владелец, информационной системой не является. В публичных же библиотеках порядок размещения книг всегда строго определенный, поэтому поиск и выдача книг, а также размещение новых поступлений представляют собой стандартные, формализованные процедуры.

Для хранения, накопления и передачи информации используются носители информации различной природы: молекулы ДНК- генетическая информация, бумага, магнитная лента, фото и киноплёнки, микросхема памяти, магнитные и лазерные диски и т.д.

6. ПОИСК ИНФОРМАЦИИ

Информационная инфраструктура - система организационных структур, обеспечивающих функционирование и развитие информационного пространства страны и средств информационного взаимодействия.

Информационная инфраструктура - совокупность информационных центров, банков данных и знаний, систем связи; и - обеспечивает доступ потребителей к информационным ресурсам.

Информационный центр - организация, выполняющая функции по сбору, аналитико-синтетической переработке и распространению информации.

Информационный поиск - процесс поиска неструктурированной документальной информации и наука об этом поиске.

Информационный поиск - действия, методы и процедуры, позволяющие осуществлять отбор определенной информации из массива данных.

Поиск информации - в узком смысле - процесс выявления в массиве информации записей, удовлетворяющих заранее определенному условию поиска (запросу).

Ретроспективный поиск информации - информационный поиск, проводимый во всем накопленном массиве документов или фактов по любому запросу, соответствующему тематике и виду информационного массива.

Справочно-поисковый аппарат - совокупность информационно-поисковых массивов, содержащих данные об адресах хранения в информационно-поисковой системе документов с определенными поисковыми образами документа.

Сбор информации - процесс целенаправленного извлечения и анализа информации о предметной области, в роли которой может выступать тот или иной процесс, объект и т.д.



Цель сбора - обеспечение готовности информации к дальнейшему продвижению в информационном процессе. Поскольку эта фаза начинает цикл обращения информации, она очень важна, от качества ее исполнения во многом зависит качество информации, которая будет использоваться потребителем при решении целевых задач информационной технологии.

Данная фаза содержит этапы:

1. первичное восприятие информации - осуществляется определение качественных и количественных характеристик предметной области, важных для решаемых потребителем информации задач;
2. разработка системы классификации и кодирования информации, кодирование классов;
3. распознавание и кодирование объектов;
4. регистрация результатов

Информационный поиск - в широком смысле - последовательность операций, направленных на предоставление информации заинтересованным лицам. В общем случае информационный поиск состоит из четырех этапов: -1- уточнение информационной потребности и формулировка запроса; -2- определение совокупности держателей информационных массивов; -3- извлечение информации из информационных массивов; -4- ознакомление пользователя с полученной информацией и оценка результатов поиска.

Каталог - список элементов данных, файлов, серверов, принтеров, магнитных накопителей и других объектов, составленный в порядке, облегчающем их нахождение. Каталоги упорядочиваются по алфавиту, датам, размеру содержащихся в них объектов и другим признакам.

Стратегия поиска - определение последовательности операций, осуществляемых в процессе информационного поиска, с целью повышения его эффективности

Эффективность поиска: релевантность - соответствие полученной информации информационному запросу; пертинентность - соответствие полученной информации информационной потребности; коэффициент полноты - отношение числа релевантных документов к общему числу релевантных документов, имеющихся в информационном массиве

Технологии хранения, поиска и сортировки информации

Реляционные базы данных

Реляционные БД - базы данных с табличной формой организации информации. Реляционная БД состоит из одной или нескольких взаимосвязанных двумерных таблиц.

Глоссарий

Запись - строка таблицы. Одна запись содержит информацию об отдельном объекте, описываемом в БД.

Поле - столбец таблицы. Поле содержит определенное свойство (атрибут) объекта. Каждое поле имеет свое имя.

Первичный ключ - это поле или группа полей, с помощью которых можно однозначно идентифицировать запись. Значение первичного ключа не должно повторяться у разных записей.

Тип поля (числовой, символьный, дата, логический) - определяет множество значений, которое может принимать данное поле в различных записях.

Значения полей - диапазон некоторых величин определенных типов.

Пример БД: "Репертуар кинотеатров"

Первичный ключ: Кинотеатр + Время

Кинотеатр	Фильм	Время	Стоимость
Россия	Запущка	11:00	10.00
Россия	Брат	15:00	45.00
Россия	Брат	17:00	50.00
Россия	Титаник	21:00	55.00
Родина	Вор	17:00	35.00
Родина	Титаник	21:00	50.00

Описание структуры БД "Репертуар кинотеатров"

Название поля	Тип поля	Ширина поля (байт)	Кол-во десятичных знаков	Первичный ключ
Кинотеатр	Символьный	15	—	Да
Фильм	Символьный	25	—	—
Стоимость	Числовой	5	2	—
Время	Числовой	5	2	Да

Библиотечный каталог - совокупность расположенных по определенным правилам библиографических записей на документы, раскрывающая состав и содержание фонда библиотеки или информационного центра. Библиотечный каталог может функционировать в карточной или машиночитаемой форме, на микроносителях, а также в форме книжного издания.

Система библиотечных каталогов и картотек - часть справочно-библиографического аппарата библиотеки; совокупность планомерно организованных, взаимосвязанных и дополняющих друг друга библиографических каталогов и библиографических картотек.

Фонд документов - упорядоченная совокупность документов: - соответствующая задачам и профилю библиотеки или информационного центра; и - предназначенная для использования и хранения.

Формирование фонда документов - совокупность процессов комплектования, организации фонда, исключения документов, а также управления фондами.

Сначала системы автоматизированного информационного поиска, или информационно-поисковые системы (ИПС), использовались лишь для управления информационным взрывом в научной литературе.

Многие университеты и публичные библиотеки стали использовать ИПС для обеспечения доступа к книгам, журналам и другим документам. Широкое распространение ИПС получили с появлением сети Интернет. У русскоязычных пользователей наибольшей популярностью пользуются поисковые системы [Google](#), [Яндекс](#) и [Рамблер](#).

Поиск информации представляет собой процесс выявления в некотором множестве документов всех таких, которые посвящены указанной теме, удовлетворяют заранее определенному условию поиска или содержат необходимые факты, сведения, данные. Процесс поиска включает последовательность операций, направленных на сбор, обработку и предоставление необходимой информации заинтересованным лицам.

В общем случае поиск информации состоит из четырех этапов:

- определение (уточнение) информационной потребности и формулировка информационного запроса;
- определение совокупности возможных держателей информационных массивов (источников);
- извлечение информации из выявленных информационных массивов;
- ознакомление с полученной информацией и оценка результатов поиска.

Полнотекстовый поиск - поиск по всему содержимому документа. Пример полнотекстового поиска — любой интернет-поисковик, например [www.yandex.ru](#), [www.google.com](#). Как правило, полнотекстовый поиск для ускорения поиска использует предварительно построенные индексы. Наиболее распространенной технологией для индексов полнотекстового поиска являются инвертированные индексы.

Поиск по метаданным - поиск по неким атрибутам документа, поддерживаемым системой - название документа, дата создания, размер, автор и т. д. Пример поиска по реквизитам - диалог поиска в файловой системе (например, MS [Windows](#)).

Поиск по изображению - поиск по содержанию изображения. Поисковая система распознает содержание фотографии. В результатах поиска пользователь получает похожие изображения. Так работают поисковые системы: *Xcavator*, *Retrievr*, *PolarRose*, *Picollator Online by Recogmission*.

5

Технология хранения, поиска и сортировки информации

Работа с информацией баз данных

Запрос - средство извлечения информации из БД, отвечающий некоторым условиям, задаваемым пользователем.

Сортировка - процесс упорядочивания записей в таблице.

SQL - структурированный язык запросов, дающий возможность создавать и работать в реляционных БД.

Извлечение информации из БД

Структура запроса: **SELECT** <список полей>
FROM <название таблицы> **WHERE** <условие поиска>

Пример запроса к БД "Репертуар кинотеатров":

Кинотеатр	Фильм	Время	Стоимость
Россия	Золушка	11:00	10.00
Россия	Брат	15:00	45.00
Россия	Брат	17:00	50.00
Россия	Титаник	21:00	55.00
Россия	Бор	17:00	35.00
Россия	Титаник	21:00	50.00

SELECT Кинотеатр, Стоимость **FROM** Репертуар кинотеатров **WHERE** Время = 21:00 **AND** Фильм=Титаник

Результат запроса:

Кинотеатр	Стоимость
Россия	55.00
Россия	50.00

Сортировка записей в БД

Структура команды сортировки:
ORDER BY <название поля> [**ASC** | **DESC**]

ASC - упорядочивание по возрастанию (1,2,3...) или по алфавиту (А-Я) (используется по умолчанию)

DESC - упорядочивание по убыванию или по алфавиту в обратном порядке (Я-А)

Примеры сортировки БД "Репертуар кинотеатров":

SELECT Фильм, Стоимость **FROM** Репертуар кинотеатров **ORDER BY** Стоимость

Фильм	Стоимость
Золушка	10.00
Бор	35.00
Брат	45.00
Брат	50.00
Титаник	50.00
Титаник	55.00

SELECT Фильм, Время, Стоимость **FROM** Репертуар кинотеатров **ORDER BY** Фильм **DESC**

Фильм	Время	Стоимость
Титаник	21:00	50.00
Титаник	21:00	55.00
Золушка	11:00	10.00
Бор	17:00	35.00
Брат	15:00	45.00
Брат	17:00	50.00

Перейдём теперь к методам поиска информации.

Адресный поиск - поиск документов по чисто формальным признакам, указанным в запросе. Для осуществления нужны следующие условия: наличие у документа точного адреса; обеспечение строгого порядка расположения документов в запоминающем устройстве или в хранилище системы. Адресами документов могут выступать адреса веб-серверов и веб-страниц и элементы библиографической записи, и адреса хранения документов в хранилище. **Семантический поиск** - процесс поиска документов по их содержанию. Условия: перевод содержания документов и запросов с естественного языка на информационно-поисковый язык и составление поисковых образов документа и запроса.

В поисковом описании указывается дополнительное условие поиска. Принципиальная разница между адресным и семантическим поисками состоит в том, что при адресном поиске документ рассматривается как объект с точки зрения формы, а при семантическом поиске - с точки зрения содержания. При семантическом поиске находится множество документов без указания адресов. В этом принципиальное отличие каталогов и картотек.

Библиотека - собрание библиографических записей без указания адресов.

Документальный поиск - процесс поиска в хранилище информационно-поисковой системы первичных документов или в базе данных вторичных документов, соответствующих запросу пользователя. Существует два вида документального поиска: 1. Библиотечный, направленный на нахождение первичных документов. 2. Библиографический, направленный на нахождение сведений о документах, представленных в виде библиографических записей. Фактографический поиск - процесс поиска фактов, соответствующих информационному запросу. К фактографическим данным относятся сведения, извлеченные из документов, как первичных, так и вторичных и получаемые непосредственно из источников их возникновения. Различают два вида: 1. Документально-фактографический, заключается в поиске в документах фрагментов текста, содержащих факты. 2. Фактологический (описание фактов), предполагающий создание новых фактографических описаний в процессе поиска путем логической переработки найденной фактографической информации. Различия между документальным и фактологическим методами колоссальны.

Информационный поиск - большая междисциплинарная область науки, стоящая на пересечении когнитивной психологии, информатики, информационного дизайна, лингвистики, семиотике и библиотечного дела. Информационный поиск - поиск информации в документах, поиск самих документов, извлечение метаданных из документов, поиск текста, изображений, видео и звука в локальных реляционных базах данных, в гипертекстовых базах данных таких, как Интернет и локальные интернет-системы.

В настоящее время информационный поиск - бурно развивающаяся область науки, популярность которой обусловлено экспоненциальным ростом объемов информации, в частности в сети Интернет.

Говоря о системах информационного поиска, употребляют термины запрос и объект запроса.

Запрос - формализованный способ выражения информационных потребностей пользователем системы. Для выражения информационной потребности используется язык поисковых запросов, синтаксис варьируется от системы к системе. Кроме специального языка запросов, современные поисковые системы позволяют вводить запрос на естественном языке.

Объект запроса - информационная сущность, которая хранится в базе автоматизированной системы поиска. Несмотря на то, что наиболее распространенным объектом запроса является текстовый документ, не существует

никаких принципиальных ограничений. В частности, возможен поиск изображений, музыки и другой мультимедиа информации. Процесс занесения объектов поиска в ИПС называется индексацией. Далеко не всегда ИПС хранит точную копию объекта, нередко вместо неё хранится суррогат.

Центральная задача информационного поиска - помочь пользователю удовлетворить его информационную потребность. Так как описать информационные потребности пользователя технически непросто, они формулируются как некоторый запрос, представляющий из себя набор ключевых слов, характеризующий то, что ищет пользователь. Классическая задача информационного поиска, с которой началось развитие этой области, - это поиск документов, удовлетворяющих запросу, в рамках некоторой статической коллекции документов. Но список задач информационного поиска постоянно расширяется и теперь включает: Вопросы моделирования; Классификация документов; Фильтрация документов; Кластеризация документов; Проектирование архитектур поисковых систем и пользовательских интерфейсов; Извлечение информации, в частности, аннотирования и реферирования документов; Языки запросов и др.

Существует много способов оценить насколько хорошо документы, найденные ИПС, соответствуют запросу. К сожалению, понятие степени соответствия запроса, или другими словами релевантности, является субъективным понятием, а степень соответствия зависит от конкретного человека, оценивающего результаты выполнения запроса.

Точность - отношение числа релевантных документов, найденных ИПС, к общему числу найденных документов; **полнота** - отношение числа найденных релевантных документов, к общему числу релевантных документов в базе; **выпадение** - вероятность нахождения нерелевантного ресурса, определяемая, как отношение числа найденных нерелевантных документов к общему числу нерелевантных документов в базе; **F-мера** (Ван Ризбергена) – гармоническое среднее точности и полноты.

7. ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Обработка информации - преобразование информации из одного вида в другой, осуществляемое по строгим формальным правилам.

Обрабатывать можно информацию любого вида. Правила обработки могут быть самыми



разнообразными.

Системы, в которых наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины, а структура и внутренние процессы неизвестны, называются чёрным ящиком.

Любая вещь, любой предмет, любое явление - любой познаваемый объект - первоначально обычно выступает как «чёрный ящик». (В практической деятельности врач сталкивается с внешними проявлениями болезни, но истинное состояние организма больного ему неизвестно. Перед врачом задача «чёрного ящика»). «Чёрный ящик» - система, об устройстве и принципах деятельности которой мы ничего не знаем. Обработка информации по принципу «чёрного ящика» - процесс, в котором пользователю важна и необходима лишь входная и выходная информация, но правила, по которым происходит преобразование, его не интересуют и не принимаются во внимание. «Чёрный ящик» - это система, в которой внешнему наблюдателю доступна лишь информация на входе и на выходе этой системы, а строение и внутренние процессы неизвестны. Возможность автоматизированной обработки информации основывается на том, что обработка информации не подразумевает её осмысления.

Обработка (преобразование) информации - это процесс изменения формы представления информации или её содержания. Она всегда осуществляется с какой-либо целью. Процессы изменения формы представления информации часто сводятся к процессам её кодирования и декодирования и проходят одновременно с процессами сбора и передачи информации. Процесс изменения содержания информации включает в себя такие процедуры, как численные расчёты, редактирование, упорядочивание, обобщение, систематизация и т.д.

Систему, в которой наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины, а структура и внутренние процессы неизвестны, называют чёрным ящиком. Обработка информации по принципу «чёрного ящика» - процесс, в котором пользователю важна и необходима лишь входная и выходная информация, но правила, по которым происходит преобразование, его не интересуют и не принимаются во внимание.

Если правила преобразования информации строго формализованы и имеется алгоритм их реализации, то можно построить устройство для автоматизированной обработки информации. Возможность

автоматизированной обработки информации основывается на том, что преобразование информации по формальным правилам не подразумевает ее осмысления.

В вычислительной технике устройством обработки информации является **процессор**.

Обработка информации - процесс, происходящий во времени. Если он подчиняется заданному темпу поступления входной информации и допустимому пределу задержки в выработке информации на выходе, то говорят об обработке в реальном масштабе времени. Наиболее простой формой обработки информации является последовательная обработка, производимая одним процессором, в котором в любой момент времени происходит не более одного события. При наличии в системе нескольких процессоров, работающих одновременно, говорят о параллельной обработке информации.

Распространение информации - процесс предоставления информации, имеющейся в информационно-поисковой системе, потребителям информации.

Информационная услуга - услуга, ориентированные на удовлетворение информационных потребностей пользователей путем предоставления информационных продуктов.

Информационные услуги - действия субъектов (собственников и владельцев) по обеспечению пользователей информационными продуктами.

8. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Существует два определения понятия «информационная безопасность» рассматривается в следующих значениях:

- состояние (качество) определенного объекта (в качестве объекта может выступать информация, данные, ресурсы автоматизированной системы, автоматизированная система, информационная система предприятия, общества, государства и т. п.);
- деятельность, направленная на обеспечение защищенного состояния объекта (в этом значении чаще используется термин «защита информации»).

В то время как информационная безопасность - это состояние защищенности информационной среды, защита информации представляет собой деятельность по предотвращению утечки защищаемой информации, несанкционированных воздействий на защищаемую информацию, то есть процесс, направленный на достижение этого состояния.

Информационная безопасность организации - состояние защищенности информационной среды организации, обеспечивающее её формирование, использование и развитие. Информационная безопасность государства - состояние сохранности информационных ресурсов государства и защищенности законных прав личности и общества в сфере информации.

Безопасность информации (данных) - состояние защищенности информации (данных), при котором обеспечены ее (их) конфиденциальность, доступность и целостность.

Информационная безопасность - защита конфиденциальности, целостности и доступности информации.

Конфиденциальность - обеспечение доступа к информации только авторизованным пользователям.

Целостность - обеспечение достоверности и полноты информации и методов ее обработки.

Доступность - обеспечение доступа к информации и связанным с ней активам авторизованных пользователей по мере необходимости.

Информационная безопасность - все аспекты, связанные с определением, достижением и поддержанием конфиденциальности, целостности, доступности, неотказуемости, подотчетности, аутентичности и достоверности информации или средств её обработки.

Безопасность информации (данных) - состояние защищенности информации (данных), при котором обеспечиваются ее (их) конфиденциальность, доступность и целостность.

Безопасность информации (данных) определяется отсутствием недопустимого риска, связанного с утечкой информации по техническим каналам, несанкционированными и непреднамеренными воздействиями на данные и (или) на другие ресурсы автоматизированной информационной системы, используемые при применении информационной технологии.

Безопасность информации (при применении информационных технологий) - состояние защищенности информационной технологии, обеспечивающее безопасность информации, для обработки которой она применяется, и информационную безопасность автоматизированной информационной системы, в которой она реализована.

Безопасность автоматизированной информационной системы - состояние защищенности автоматизированной информационной системы, при котором обеспечиваются конфиденциальность, доступность, целостность, подотчетность и подлинность ее ресурсов.

Модель безопасности состоит из трёх категорий: **конфиденциальность** - доступность информации только определённому кругу лиц; **целостность** - гарантия существования информации в исходном виде;

доступность - возможность получения информации авторизованным пользователем в нужное для него время.

Существуют и не всегда обязательные категории модели безопасности: неотказуемость или апеллируемость - возможность доказать, что автором является именно заявленный человек (юридическое лицо), и никто другой; подотчётность - обеспечение идентификации субъекта доступа и регистрации его действий; достоверность - свойство соответствия предусмотренному поведению или результату; аутентичность или подлинность - свойство, гарантирующее, что субъект или ресурс идентичны заявленным.

В Государственном стандарте РФ приводится следующая рекомендация использования терминов «безопасность» и «безопасный». Слова «безопасность» и «безопасный» следует применять только для выражения уверенности и гарантий риска. Не следует употреблять слова «безопасность» и «безопасный» в качестве описательного прилагательного предмета, так как они не передают никакой полезной информации. Рекомендуются всюду, где возможно, эти слова заменять признаками предмета, например: «защитный шлем» вместо «безопасный шлем»; «нескользящее покрытие для пола» вместо «безопасное покрытие».

Для термина «информационная безопасность» следует придерживаться тех же рекомендаций. Желательно использовать более точные характеристики объектов, разделяемые как признаки понятия «информационная безопасность». Например, точнее будет использовать аргумент «для предотвращения угроз на доступность объекта» (или «для сохранения целостности данных») вместо аргумента «исходя из требований информационной безопасности».

Системный подход к описанию информационной безопасности предлагает выделить следующие составляющие информационной безопасности:

- Законодательная, нормативно-правовая и научная база.
- Структура и задачи органов (подразделений), обеспечивающих безопасность ИТ.
- Организационно-технические и режимные меры и методы (Политика информационной безопасности).
- Программно-технические способы и средства обеспечения информационной безопасности.

Целью реализации информационной безопасности какого-либо объекта является построение Системы обеспечения информационной безопасности данного объекта (СОИБ). Для построения и эффективной эксплуатации СОИБ необходимо:

- выявить требования защиты информации, специфические для данного объекта защиты;
- учесть требования национального и международного Законодательства;
- использовать наработанные практики (стандарты, методологии) построения подобных СОИБ;
- определить подразделения, ответственные за реализацию и поддержку СОИБ;
- распределить между подразделениями области ответственности в осуществлении требований СОИБ;
- на базе управления рисками информационной безопасности определить общие положения, технические и организационные требования, составляющие Политику информационной безопасности объекта защиты;
- реализовать требования Политики информационной безопасности, внедрив соответствующие программно-технические способы и средства защиты информации;
- реализовать Систему менеджмента (управления) информационной безопасности (СМИБ);
- используя СМИБ организовать регулярный контроль эффективности СОИБ и при необходимости пересмотр и корректировку СОИБ и СМИБ.

Как видно из последнего этапа работ, процесс реализации СОИБ непрерывный и циклично (после каждого пересмотра) возвращается к первому этапу, повторяя последовательно все остальные. Так СОИБ корректируется для эффективного выполнения своих задач защиты информации и соответствия новым требованиям постоянно обновляющейся информационной системы.

В Российской Федерации к нормативно-правовым актам в области информационной безопасности относятся Акты федерального законодательства: Конституция РФ; Международные договоры; Федеральные законы; Указы Президента РФ; Постановления правительства РФ. К нормативно-методическим документам можно отнести: Нормативные документы государственных органов России в области информационной безопасности: Доктрина информационной безопасности РФ; Руководящие документы Гостехкомиссии; Руководящие документы ФСТЭК; Приказы ФСБ; Стандарты информационной безопасности, из которых выделяют: Международные стандарты; Государственные (национальные) стандарты РФ; Рекомендации по стандартизации; Методические указания.

В зависимости от приложения деятельности в области защиты информации (в рамках государственных органов власти или коммерческих организаций), сама деятельность организуется специальными государственными органами (подразделениями), либо отделами (службами) предприятия. Государственные органы РФ, контролирующие деятельность в области защиты информации: Совет безопасности России; Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК);

Федеральная служба безопасности Российской Федерации (ФСБ России); Министерство внутренних дел Российской Федерации (МВД России); Федеральная служба по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Россвязьобществокультура). Службы, организующие защиту информации на уровне предприятия Служба экономической безопасности, Служба безопасности персонала (Режимный отдел); Отдел кадров; Служба информационной безопасности.

Для описания технологии защиты информации конкретной информационной системы строится Политика информационной безопасности или Политика безопасности рассматриваемой информационной системы.

Политика безопасности (информации в организации) - совокупность документированных правил, процедур, практических приемов или руководящих принципов в области безопасности информации, которыми руководствуется организация в своей деятельности.

Политика безопасности информационно-телекоммуникационных технологий - правила, директивы, сложившаяся практика, которые определяют, как в пределах организации и её информационно-телекоммуникационных технологий управлять, защищать и распределять активы, в том числе критичную информацию. Для построения Политики информационной безопасности рекомендуется отдельно рассматривать следующие направления защиты информационной системы: Защита объектов информационной системы; Защита процессов, процедур и программ обработки информации; Защита каналов связи; Подавление побочных электромагнитных излучений.

При этом, по каждому из перечисленных выше направлений Политика информационной безопасности должна описывать следующие этапы создания средств защиты информации: Определение информационных и технических ресурсов, подлежащих защите; Выявление полного множества потенциально возможных угроз и каналов утечки информации; Проведение оценки уязвимости и рисков информации при имеющемся множестве угроз и каналов утечки; Определение требований к системе защиты; Осуществление выбора средств защиты информации и их характеристик; Внедрение и организация использования выбранных мер, способов и средств защиты; Осуществление контроля целостности и управление системой защиты.

Политика информационной безопасности оформляется в виде документированных требований на информационную систему. Документы обычно разделяют по уровням описания (детализации) процесса защиты. Политики информационной безопасности отражают позицию организации к деятельности в области защиты информации, ее стремление соответствовать государственным, международным требованиям и стандартам в этой области. Подобные документы могут называться «Концепция ИБ», «Регламент управления ИБ», «Политика ИБ», «Технический стандарт ИБ» и т.п. Область распространения документов верхнего уровня обычно не ограничивается, однако данные документы могут выпускаться и в двух редакциях - для внешнего и внутреннего использования. Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799-2005, на верхнем уровне Политики информационной безопасности должны быть оформлены следующие документы: «Концепция обеспечения ИБ», «Правила допустимого использования ресурсов информационной системы», «План обеспечения непрерывности бизнеса».

К среднему уровню относят документы, касающиеся отдельных аспектов информационной безопасности. Это требования на создание и эксплуатацию средств защиты информации, организацию информационных и бизнес-процессов организации по конкретному направлению защиты информации. Например: Безопасности данных, Безопасности коммуникаций, Использования средств криптографической защиты, Контентная фильтрация и т.п. Подобные документы обычно издаются в виде внутренних технических и организационных политик (стандартов) организации. Все документы среднего уровня политики информационной безопасности конфиденциальны. В политику информационной безопасности нижнего уровня входят регламенты работ, руководства по администрированию, инструкции по эксплуатации отдельных сервисов информационной безопасности.

Существует следующая классификация средств защиты информации: Средства защиты от несанкционированного доступа (НСД), Средства авторизации; Мандатное управление доступом; Избирательное управление доступом; Управление доступом на основе ролей; Журналирование (так же называется Аудит). Системы мониторинга сетей включают: системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS); анализаторы протоколов, антивирусные средства, межсетевые экраны, криптографические средства, шифрование, цифровая подпись, системы резервного копирования, системы бесперебойного питания; системы аутентификации: пароль, сертификат, биометрия; средства предотвращения взлома корпусов и краж оборудования; Средства контроля доступа в помещения; инструментальные средства анализа систем защиты.

Категория «информационная безопасность» возникла с появлением средств информационных коммуникаций между людьми, а также с осознанием человеком наличия у людей и их сообществ интересов, которым может быть нанесен ущерб путем воздействия на средства информационных коммуникаций, наличие и развитие которых обеспечивает информационный обмен между всеми элементами социума. Учитывая влияние на трансформацию идей информационной безопасности, в развитии средств информационных коммуникаций можно выделить несколько этапов:

I этап - до 1916 - характеризуется использованием естественно возникавших средств информационных коммуникаций. В этот период основная задача информационной безопасности заключалась в защите сведений о событиях, фактах, имуществе, местонахождении и других данных, имеющих для человека лично или сообщества, к которому он принадлежал, жизненное значение.

II этап - начиная с 1916 - связан с началом использования искусственно создаваемых технических средств электро- и радиосвязи. Для обеспечения скрытности и помехозащищенности радиосвязи необходимо было использовать опыт первого периода информационной безопасности на более высоком технологическом уровне, а именно применение помехоустойчивого кодирования сообщения (сигнала) с последующим декодированием принятого сообщения (сигнала).

III этап - начиная с 1935 - связан с появлением радиолокационных и гидроакустических средств. Основным способом обеспечения информационной безопасности в этот период было сочетание организационных и технических мер, направленных на повышение защищенности радиолокационных средств от воздействия на их приемные устройства активными маскирующими и пассивными имитирующими радиоэлектронными помехами.

IV этап - начиная с 1946 - связан с изобретением и внедрением в практическую деятельность электронно-вычислительных машин (компьютеров). Задачи информационной безопасности решались, в основном, методами и способами ограничения физического доступа к оборудованию средств добыwania, переработки и передачи информации.

V этап - начиная с 1965 - обусловлен созданием и развитием локальных информационно-коммуникационных сетей. Задачи информационной безопасности также решались, в основном, методами и способами физической защиты средств добыwania, переработки и передачи информации, объединенных в локальную сеть путем администрирования и управления доступом к сетевым ресурсам.

VI этап - начиная с 1973 - связан с использованием сверхмобильных коммуникационных устройств с широким спектром задач. Угрозы информационной безопасности стали гораздо серьезнее. Для обеспечения информационной безопасности в компьютерных системах с беспроводными сетями передачи данных потребовалась разработка новых критериев безопасности. Образовались сообщества людей - хакеров, ставящих своей целью нанесение ущерба информационной безопасности отдельных пользователей, организаций и целых стран. Информационный ресурс стал важнейшим ресурсом государства, а обеспечение его безопасности - важнейшей и обязательной составляющей национальной безопасности. Формируется информационное право - новая отрасль международной правовой системы.

VII этап - начиная с 1985 - связан с созданием и развитием глобальных информационно-коммуникационных сетей с использованием космических средств обеспечения. Можно предположить, что очередной этап развития информационной безопасности, очевидно, будет связан с широким использованием сверхмобильных коммуникационных устройств с широким спектром задач и глобальным охватом в пространстве и времени, обеспечиваемым космическими информационно-коммуникационными системами. Для решения задач информационной безопасности на этом этапе необходимо создание макросистемы информационной безопасности человечества под эгидой ведущих международных форумов.

9. ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРАВО

Информационное право рассматривается как наука, как учебная дисциплина и как собственно система правового регулирования отношений в информационной сфере, т.е. отрасль российского права.

Информационное право как наука - это система научных знаний об информационном праве как отрасли права, его предмете, методах, принципах правового регулирования информационных отношений, истории развития, его основных институтах, сравнительно-правовом анализе норм права и общественных отношений в информационной сфере зарубежных стран. И эта наука находится на начальном этапе своего формирования.

Информационное право как учебная дисциплина - это система знаний об информационном праве, обязательных к изучению в соответствующих учебных заведениях, в первую очередь юридических.

Информационное право как одна из отраслей российского права представляет собой систему норм права, регулирующих отношения в информационной сфере. Это одна из самых молодых отраслей в системе российского права.

Информационное право - отрасль права, совокупность правовых норм, регулирующих общественные отношения в информационной сфере, связанных с оборотом информации, формированием и использованием информационных ресурсов, созданием и функционированием информационных систем в целях обеспечения безопасного удовлетворения информационных потребностей граждан, их организаций, государства и общества.

Основным предметом правового регулирования информационного права выступают информационные отношения, т.е. общественные отношения в информационной сфере, возникающие при осуществлении информационных процессов - процессов производства, сбора, обработки, накопления, хранения, поиска, передачи, распространения и потребления информации.

В Конституции России закреплено право граждан на информацию. Причем один режим касается информации о частной жизни лица и не допускает её сбор и использование без его согласия (статья 24). Гарантируется тайна сообщений о личной жизни, кроме ограничений на основании судебного решения (статья 23). Другой режим создается для реализации права каждого гражданина свободно искать, получать, передавать, производить и распространять информацию любым законным способом (статья 29). Дополнительно урегулированы режим пользования сведениями, составляющими государственную тайну, свобода массовой информации (статья 29), право на получение достоверной информации о состоянии природной среды (статья 42). Запрещено сокрытие должностными лицами фактов и обстоятельств, угрожающих жизни и здоровью людей (статья 41).

Одновременно выделен компетенционный аспект – федеральная информация и связь отнесены к предметам ведения Российской Федерации. Остальные виды информационного обслуживания находятся в ведении субъектов Федерации. На конституционном уровне определены важнейшие информационные полномочия государственных институтов – Президента, Парламента (п. 3 ст. 104), Правительства (п. 1 ст. 111, п. 1 ст. 112). Существует весьма разнообразное законодательство об информации и её использовании, обмене и защите. На её развитие существенным образом влияют международно-правовые акты. Таковы, например, конвенции, резолюции и рекомендации в рамках Европейского Союза – о защите прав личности в связи с прогрессом в области информатики, о принципах защиты данных о личности, о запросе лиц при автоматизированной обработке данных персонального характера.

Межпарламентская Ассамблея государств – участников СНГ приняла в 1993 модельный законодательный акт «О принципах регулирования информационных отношений в государствах – участниках Межпарламентской Ассамблеи», в котором содержатся основные термины и определения, закреплены принципы правового регулирования информации (обеспечение доступности информации, законодательное закрепление прав граждан, организаций и государства на поиск, получение и использование информации, правовая защита информации и др.), даны основные характеристики режимов информации и оснований ответственности.

Национальное законодательство об информации и информатизации обычно состоит из трёх блоков нормативно-правовых актов. Речь идёт о законах и иных актах об общей информационной политике, об актах, посвященных юридическим режимам сбора и использования информации, об актах, регулирующих отдельные элементы информационной деятельности. Высказываются предложения либо в пользу компьютерного права, либо – «права информации». Предметом самостоятельного правового регулирования могут быть ЭВМ как объект юридического анализа, использование компьютерной техники в политической жизни, нормативные пределы сбора данных о личной жизни граждан, правовое обеспечение автоматизированных систем управления, режимы оказания информационно-вычислительных услуг, использования машинной информации, правовая защита информации, борьба с компьютерной преступностью, договорные отношения в сфере информатики.

Непременным условием эффективности законодательного регулирования отношений в сфере информатизации является нормативно закреплённое признание информации как ресурса общественного развития. Необходимо установление в законодательстве порядка и условий использования информационной продукции и услуг в качестве товара, приобретаемого пользователями для удовлетворения своих информационных потребностей на возмездной основе. В этой же связи должны быть законодательно решены вопросы собственности на информацию и информационную продукцию.

Информационное обеспечение законодательного процесса предполагает использование информации различных видов: о фактическом состоянии регулируемой сферы общественных отношений, а также о возможных тенденциях и перспективах их развития (правовая, социологическая); о состоянии законодательства в данной сфере (правовая); о зарубежном опыте законодательного регулирования данной сферы; научная информация (концепции, теоретические разработки); расчетно-аналитическая информация (экономическая, коммерческая, финансовая, демографическая, техническая); прогнозная информация о

возможных последствиях действия закона, социальная информация (общественное мнение); альтернативные проекты и варианты решений; экспертные оценки и заключения проектов законов.

Еще одна сфера – массовая информация, предназначенная для информирования неограниченного круга лиц средствами печати, радио, телевидения, видеотехники. Юридическую базу деятельности в данной сфере заложил Закон «О средствах массовой информации». В статутных законах, посвященных правовому статусу государственных органов, иных субъектов права, всё более заметное место занимают либо «информационные» статьи, либо информационные нормы, отражающие режимы и содержание информационной деятельности. Их объём и содержание далеко не одинаковы, что отражает пока неустойчивость представления об их полезности. Так, в Законе «О краевом, областном Совете народных депутатов и краевой, областной администрации» содержались информационные нормы, полные или «усечённые». К примеру, нормы о гласности (статья 25), заслушивание отчетов главы администрации, руководителей её подразделений (п. 10 ст. 44), получение сведений для анализа социально-экономического развития края, области (п. 2 ст. 49), рассмотрение предложений о размещении и развитии предприятий, организаций (п. 5 ст. 49), о контроле за состоянием учета и отчетности (п. 6 ст. 49). В Законе «О прокуратуре РФ» есть статья 44 о статистической отчетности в системе органов прокуратуры.

Появляются информационные нормы и в законах о статусе хозяйствующих субъектов. Так, в статье 28 Закона «О предприятиях и предпринимательской деятельности» урегулированы информационные аспекты контроля за деятельностью предприятия. Оно ведёт бухгалтерскую и статистическую отчетность, предоставляет государственным органам информацию для целей налогообложения и ведения общегосударственной системы сбора и обработки экономической информации. Предприятие вправе не представлять информацию, содержащую коммерческую тайну. Руководитель предприятия определяет перечень сведений, составляющих коммерческую тайну. Перечень сведений, которые не могут составлять коммерческую тайну, определяется Правительством. В статье 18 Закона «О товарных биржах и биржевой торговле» предусматривается, что в правилах биржевой торговли определяется порядок информирования членов биржи и других участников торговли о товарных рынках и рыночной конъюнктуре биржевых товаров.

В экономических отношениях проявляются элементы как информационного «самообслуживания», так и договорного обслуживания специальными информационными службами. Закон «О конкуренции и ограничении монопольной деятельности на товарных рынках» не допускает, в частности, получение, использование, разглашение научно-технической, производственной или торговой информации без согласия её владельца. Запрещается распространение ложных, неточных или искаженных сведений, способных причинить убытки другому хозяйственному субъекту либо нанести ущерб его деловой репутации (статья 10). Антимонопольный комитет обладает полномочиями по пресечению подобной деятельности, равно как и органы государственной налоговой инспекции).

21.02.1994 принят Указ Президента РФ «О совершенствовании деятельности в области информатизации органов государственной власти Российской Федерации», ставящий целью проведение единой технической политики в области информатизации органов государственной власти Российской Федерации и устранение имеющегося дублирования, повышение надежности функционирования информационно-телекоммуникационных систем.

Уместно напомнить и Закон «О государственной тайне», в нём определены сведения, которые отнесены к государственной тайне. Это сведения в военной области, в области экономики, науки и техники (в частности, о содержании планов подготовки России и её отдельных регионов к возможным военным действиям, мобилизационных мощностях промышленности); о силах и средствах гражданской обороны, об объемах, планах государственного оборонного заказа, о научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работах, технологиях, имеющих важное оборонное или экономическое значение, влияющих на безопасность РФ, и др.; сведения в области внешней политики и экономики – о внешнеполитической и внешнеэкономической (торговой, кредитной и валютной) деятельности РФ, преждевременное распространение которых может нанести ущерб ее интересам. Установлены полномочия органов государственной власти и должностных лиц в области отнесения сведений к государственной тайне и их защиты.

Информационная деятельность в России регулируется Федеральным законом Российской Федерации ОБ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ И ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ (Принят Государственной Думой 8.07.2006, одобрен Советом Федерации 14.07.2006).

Закон регулирует отношения, возникающие при осуществлении права на поиск, получение, передачу, производство и распространение информации; применении информационных технологий; обеспечении защиты информации.

Полный текст закона приведён в Приложении.

В США есть сеть общедоступных банков данных, к которым гражданин или организация подключаются в определенном режиме и получают разнообразную информацию. Таких банков свыше 4000. В США, Германии и Франции действуют десятки правовых актов в информационной сфере. В них подробно регулируются статус субъектов информационной деятельности, режим информационного обмена и подключение к общим информационным сетям, автоматизированным банкам данных. На данном этапе в этих странах сделан акцент на правовые аспекты технологии обработки и использования данных о гражданине.

Деятельность программистов и других специалистов, работающих в сфере информатики, всё чаще выступает в качестве объекта правового регулирования. Некоторые действия при этом могут быть квалифицированы как правонарушения (преступления).

Остановимся на правовом регулировании в области информатики в России более подробно.

Необходимо отметить, что регулирование в сфере, связанной с защитой информации, программированием и т.д., является для российского законодательства принципиально новым, еще слабо разработанным направлением. К 1992 году был принят Закон РФ «О ПРАВОВОЙ ОХРАНЕ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН И БАЗ ДАННЫХ», содержащий обширный план приведения российского законодательства в сфере информатики в соответствие с мировой практикой. Действие этого Закона распространяется на отношения, связанные с созданием и использованием программ для ЭВМ и баз данных. Главное содержание данного Закона – юридическое определение понятий, связанных с авторством и распространением компьютерных программ и баз данных, таких как Авторство, Адаптация, База данных, Воспроизведение, Декомпилирование. Использование, Модификация и т.д., а также установление прав, возникающих при создании программ и баз данных – авторских, имущественных, на передачу, защиту, регистрацию, неприкосновенность и т.д.

Авторское право распространяется на любые программы для ЭВМ и базы данных (как выпущенные, так и не выпущенные в свет), представленные в объективной форме, независимо от их материального носителя, назначения и достоинства. Авторское право распространяется на программы для ЭВМ и базы данных, являющиеся результатом творческой деятельности автора. Творческий характер деятельности автора предполагается до тех пор, пока не доказано обратное.

Предоставляемая Законом правовая охрана распространяется на все виды программ и на базы данных, представляющие собой результат творческого труда по подбору и организации данных. Предоставляемая правовая охрана не распространяется на идеи и принципы, лежащие в основе программы для ЭВМ и базы. Авторское право на программы для ЭВМ и базы данных возникает в силу их создания. Для осуществления авторского права на программы для ЭВМ и базы данных не требуется опубликования, регистрации или соблюдения иных формальностей. Авторское право на базу данных признается при условии соблюдения авторского права на каждое из произведений, включенных в базу данных. Автором программы для компьютера и базы данных признается физическое лицо, в результате творческой деятельности которого они созданы. Если программа для ЭВМ и база данных созданы совместной творческой деятельностью двух и более физических лиц, то, независимо от того, состоит ли программа для ЭВМ или база данных из частей, каждая из которых имеет самостоятельное значение, или является неделимой, каждое из этих лиц признается автором такой программы для ЭВМ и базы данных. Автору компьютерной программы принадлежит исключительное право осуществлять и (или) разрешать осуществление следующих действий: выпуск в свет программы для ЭВМ и базы данных; воспроизведение программы для ЭВМ и базы данных в любой форме, любыми способами; распространение программы для ЭВМ и баз данных; модификацию программы для ЭВМ и базы данных, в том числе перевод программы для ЭВМ и базы данных с одного языка на другой.

Однако, имущественные права на программы для ЭВМ и базы данных, созданные в порядке выполнения служебных обязанностей или по заданию работодателя, принадлежат работодателю, если в договоре между ним и автором не предусмотрено иное. Т.е. имущественное право на программу, созданную в ходе дипломного проектирования, принадлежит не автору, а вузу – по крайней мере, пока между ними не будет заключено специальное соглашение. Имущественные права на компьютерную программу могут быть переданы полностью или частично другим физическим или юридическим лицам если определены способы использования программы для ЭВМ, порядок выплаты и размер вознаграждения, срок действия договора.

Лицо, правомерно владеющее экземпляром программы для ЭВМ или базы данных, вправе без получения дополнительного разрешения правообладателя осуществлять любые действия, связанные с функционированием программы для ЭВМ или базы данных в соответствии с их назначением, в том числе запись и хранение в памяти ЭВМ, а также исправление явных ошибок. Запись и хранение в памяти ЭВМ допускаются в отношении одной ЭВМ или одного пользователя в сети, если иное не предусмотрено договором с правообладателем. Также допускается без

согласия правообладателя и без выплаты ему дополнительного вознаграждения осуществлять следующие действия: 1) адаптацию программы для ЭВМ или базы данных; 2) изготовление копии программы при условии, что эта копия предназначена только для архивных целей и при необходимости для замены правомерно приобретенного экземпляра.

Лицо, правомерно владеющее экземпляром программы для ЭВМ, вправе без согласия правообладателя и без выплаты дополнительного вознаграждения выполнять декомпилирование программы для ЭВМ с тем, чтобы изучить кодирование и структуру этой программы при следующих условиях: 1) информация, необходимая для взаимодействия независимо разработанной данным лицом программы для ЭВМ с другими программами, недоступна из других источников; 2) информация, полученная в результате этого декомпилирования, может использоваться лишь для организации взаимодействия независимо разработанной данным лицом программы для ЭВМ с другими программами, а не для составления новой программы для ЭВМ, по своему виду существенно схожей с декомпилируемой программой. Свободная перепродажа экземпляра программы для ЭВМ и базы данных допускается без согласия правообладателя и без выплаты ему дополнительного вознаграждения после первой продажи. Выпуск под своим именем чужой программы для ЭВМ или базы данных, а также незаконное воспроизведение или распространение таких произведений влечет за собой уголовную ответственность.

В настоящее время уголовное законодательство РФ не в полной мере учитывает все возможные компьютерные преступления. Вообще же, в законодательной практике многих стран отмечены различные виды компьютерных преступлений и разработаны методы борьбы с ними.

Компьютерные преступления условно можно разделить на две большие категории: 1) преступления, связанные с вмешательством в работу компьютеров; 2) преступления, использующие компьютеры как необходимые технические средства.

Можно выделить следующие виды компьютерной преступности первого вида:

- несанкционированный доступ в компьютерные сети и системы, банки данных с целью шпионажа или диверсии (военного, промышленного, экономического), с целью, так называемого, компьютерного хищения или из хулиганских побуждений;
- ввод в программное обеспечение, так называемых, «логических бомб», срабатывающих при определенных условиях (логические бомбы, угрожающие уничтожением данных, могут использоваться для шантажа владельцев информационных систем или выполнять новые, не планировавшиеся владельцем программы, функции при сохранении работоспособности системы; известны случаи, когда программисты вводили в программы финансового учета команды, переводящие на счета этих программистов денежные суммы или скрывающие денежные суммы от учета, что позволяло незаконно получать их);
- разработку и распространение компьютерных вирусов;
- преступную небрежность в разработке, изготовлении и эксплуатации программно-вычислительных комплексов, приведшую к тяжким последствиям;
- подделку компьютерной информации (продукции) и сдачу заказчикам неработоспособных программ, подделку результатов выборов, референдумов;
- хищение компьютерной информации (нарушение авторского права и права владения программными средствами и базами данных).

Среди компьютерных преступлений второго вида, т.е. использующих компьютер как средство преступления, следует отметить преступления, спланированные на основе компьютерных моделей, например, в сфере бухгалтерского учета.

Для современного состояния правового регулирования сферы, связанной с информатикой, в России в настоящее время наиболее актуальными являются вопросы, связанные с нарушением авторских прав. Большая часть программного обеспечения, используемого отдельными программистами и пользователями и целыми организациями, приобретена в результате незаконного копирования, т.е. хищения. Назрела потребность узаконить способы борьбы с этой порочной практикой, поскольку она мешает, прежде всего, развитию самой информатики.

Современный Интернет - универсальная глобальная информационная среда - имеет много социальных и культурных граней.

В данной лекции мы вспомним историю создания сети Интернет и его основные компоненты.

1. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

Компьютерная сеть - совокупность взаимосвязанных через каналы передачи данных компьютеров, обеспечивающих пользователей средствами обмена информацией и коллективного использования ресурсов сети: 1) аппаратных, 2) программных, 3) информационных.

Компьютерная сеть (вычислительная сеть, сеть передачи данных) - система связи двух или более компьютеров и/или компьютерного оборудования (серверы, маршрутизаторы и другое оборудование). Для передачи информации могут быть использованы различные физические явления, как правило - различные виды электрических сигналов или электромагнитного излучения.

Табл. 1. Локальные и глобальные компьютерные сети

	Локальные (ЛВС/LAN - Local Area Network)	Глобальные (Internet/Wan - Wide Area Network)
Функция	Связывает абонентов одного или нескольких близлежащих зданий одного предприятия	Объединяет абонентов, расположенных по всему миру
Канал передачи данных	витая пара коаксиальный кабель оптоволоконный кабель радиоканал инфракрасный канал	оптический кабель телефонные линии спутниковые каналы
Расстояния между ЭВМ	до 20 км.	до 15000 км.

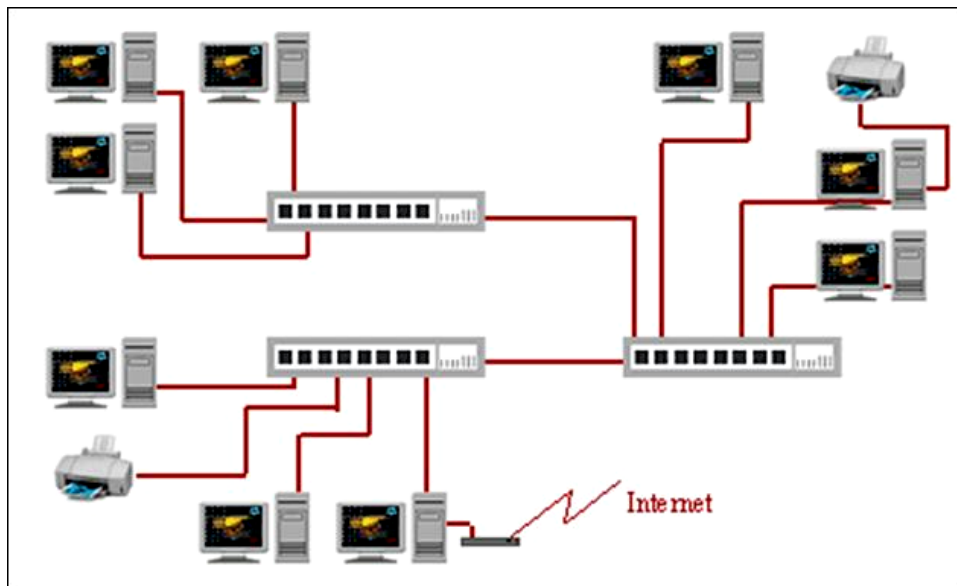
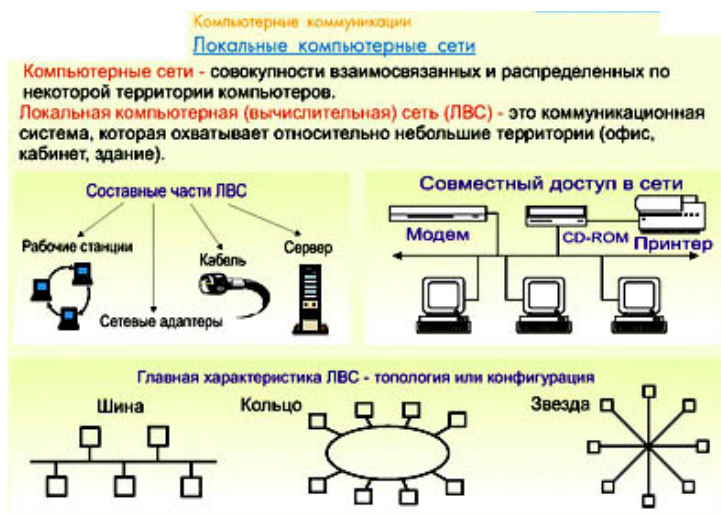


Рис. 1. Одноранговая ЛВС.



Компьютерные сети классифицируются:

- 1) По размеру, охваченной территории: персональная, локальная, городская, национальная, глобальная вычислительная сеть.
- 2) По типу функционального взаимодействия: клиент-сервер, смешанная сеть, точка-точка, одноранговая сеть, многограновые сети.
- 3) По типу сетевой топологии: шина, звезда, кольцо, решётка, смешанная топология, полносвязная топология.
- 4) По функциональному назначению: сети хранения данных, серверные фермы, сети управления процессом.

5) По сетевым ОС: На основе [Windows](#), [UNIX](#), [NetWare](#) или смешанные.

6) По необходимости поддержания постоянного соединения:Packetная или Онлайновая сеть, например [Интернет](#) и [GSM](#).

Передача данных может осуществляться по проводной связи (телефонная сеть (модем и коммутированный доступ), выделенные линии, коммутация пакетов, передача по оптоволокну, или по беспроводной связи: ближнего, среднего или дальнего радиуса действия (спутниковая связь, мобильные телефоны).

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) - группа ЭВМ, а также периферийное оборудование, объединенные в пределах одного или нескольких близлежащих зданий автономными (не арендуемыми) высокоскоростными каналами передачи цифровых данных (проводными или беспроводными: медными, волоконно-оптическими, СВЧ или ИК-диапазона). Служит для решения информационных задач (например, в рамках какой-либо организации), а также совместного использования объединенных информационных и вычислительных ресурсов. ЛВС могут иметь в своем составе средства для выхода в Интернет.

Каждый компьютер, включаемый в локальную сеть должен иметь сетевую плату, в разъем которой и подключается связующий кабель. Кабели, выходящие из различных компьютеров объединяются в устройстве, называемом *сетевой концентратор (switch, HUB)*. Сетевые концентраторы также могут иметь связь друг с другом, объединяя вместе подсети различных участков здания. Таким образом, обеспечивается прохождение сигналов между всеми устройствами, включенными в сеть.

Преимущества работы в локальной сети:

Возможность хранения данных персонального и общего использования на дисках файлового сервера.

Возможность постоянного хранения программного обеспечения, необходимого многим пользователям, в единственном экземпляре на дисках файлового сервера.

Обмен информацией между всеми компьютерами сети.

Одновременная печать всеми пользователями сети на общесетевых принтерах.

Обеспечение доступа с любого компьютера локальной сети к ресурсам Интернет, при наличии единственного коммуникационного узла глобальной сети.

В зависимости от принципов построения ЛВС подразделяются на следующие основные типы:

Одноранговая ЛВС (peer-to-peer, p2p LAN) – «безсерверная» организация построения сети. Термин «одноранговая» означает, что все компьютеры, объединенные в сеть, имеют в ней одинаковые права. Каждый пользователь одноранговой сети может определить состав файлов, которые он предоставляет для общего использования. Таким образом, пользователи одноранговой сети могут работать как со всеми своими файлами, так и с файлами, предоставляемыми другими ее пользователями. Создание одноранговой сети обеспечивает также совместную эксплуатацию периферийных устройств. Серверные функции при этом распределены по сети. Компьютер, к которому подключен принтер, может являться для всех остальных сервером печати, компьютер, к которому присоединен модем – сервером Интернет.

ЛВС с выделенным сервером (Dedicated Server Network: file-server или client-server architecture) – означает, что специально выделенный самый мощный компьютер (**сервер**) в сети берет на себя основные функции по её обслуживанию: управляет созданием, поддержкой и использованием общих информационных ресурсов, включая доступ к её базам данных и отдельным файлам, а также их защиту и аудит.

К нему же присоединяются основные периферийные устройства: модем, принтер. Т.е. серверные функции не рассредоточены по сети, а централизованы. Один и тот же компьютер-сервер может являться и файловым сервером, и Интернет-сервером, и сервером печати. Остальные компьютеры сети тогда именуют «клиентами» или «рабочими станциями».

2. СЕТЬ СЕТЕЙ

Интернет (*Internet, от Interconnected Networks* - объединённые сети; сленг *инет, нэт*) - глобальная телекоммуникационная сеть информационных и вычислительных ресурсов. Служит физической основой для Всемирной паутины. Часто упоминается как *Всемирная сеть, Глобальная сеть, либо просто Сеть*.

Слово *Интернет (Internet)* происходит от словосочетания *Interconnected networks* (связанные сети), это глобальное сообщество малых и больших сетей. Обращаясь в Интернет, мы пользуемся услугами *Интернет-провайдера* или *ISP (Internet Service Provider* - поставщик услуг Интернета). *ISP* - это организация, которая имеет собственную высокоскоростную сеть, объединенную с другими сетями по всему земному шару. Провайдер подключает к своей сети клиентов, которые становятся частью сети данного провайдера и одновременно частью всех объединенных сетей, которые и составляют Интернет.

В более широком смысле *Интернет* - это информационное пространство, распределенное среди миллионов компьютеров во всем мире, которые постоянно обмениваются данными. Основная задача Интернета - это связь. Связь круглосуточная, высоконадежная. Для того чтобы осуществлять такую высоконадежную связь, была разработана специальная Интернет-технология доставки данных.

Когда слово *internet* написано со строчной буквы, оно означает просто объединение сетей (*interconnected networks*) посредством маршрутизации пакетов данных. В этом случае не имеется в виду глобальное информационное пространство Интернет (*Internet*). В неанглоязычной или нетехнической среде эти понятия обычно не различают.

Словарь русского языка рекомендует написание слова с прописной буквы: *Интернёт*. Написание со строчной буквы используется в сложных словах, таких как «интернет-портал» и «интернет-магазин».

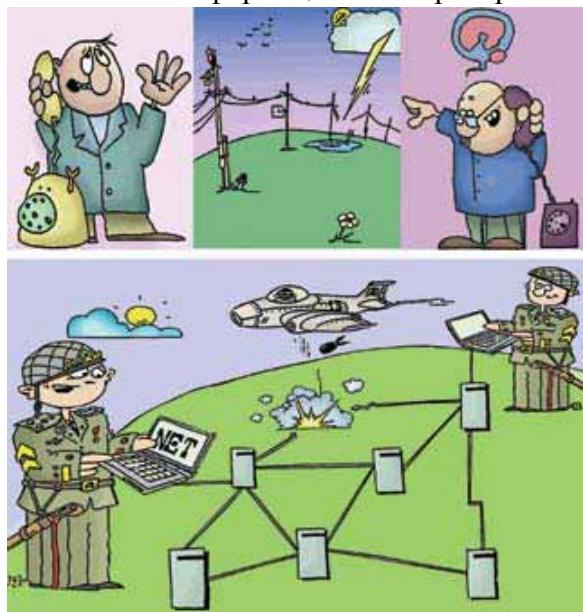


Рис. 2. Интернет – сеть, устойчивая к повреждениям

Интернет в настоящее время является самым большим и популярным межсетевым объединением в мире. Он соединяет десятки тысяч компьютерных сетей и миллионы пользователей во всем мире. При этом объединены компьютеры тысяч различных типов, оснащенные самым разным программным обеспечением. Пользователи Интернет могут не обращать внимания на все эти различия. Интернет и реализующие его технологии являются неотъемлемым атрибутом информационного общества и его базовым основанием. Эти

технологии, о которых не слышали в конце прошлого века, работают практически во всех областях экономики, науки, культуры, социальных преобразований..

Существует достаточно много толкований термина Интернет, однако он имеет два основных качественных значения:

- глобальное сообщество произвольно объединяемых мировых сетей, которые используются для свободного обмена данными, информацией и знаниями;

- совокупность технологий, которые реализуют обмен данными на основе использования семейства протоколов *TCP/IP* (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), называемых Интернет-технологиями.

В основе объединения малых и больших сетей (которые и составляют Интернет) лежит цепь договорных соглашений. Каждый пользователь Интернета имеет договор с определенным провайдером о подключении к его сети. В простейшем случае этот договор может выглядеть как одноразовая карта доступа, содержащая всю необходимую информацию для подключения пользователя в локальную сеть провайдера: номера телефонов модемного пула провайдера, имя и пароль пользователя для доступа в сеть. В свою очередь провайдеры договариваются о соединении их сетей.

Когда вы звоните абоненту по телефону в другой регион страны или даже на другой континент, система устанавливает канал между вашим телефоном и телефоном абонента. На разных этапах сигнал может передаваться в разной среде (по медным проводам, волоконно-оптическим линиям, по радио). Но линия связи между вами и человеком, которому вы звоните, постоянна в течение всего разговора, поэтому неполадки любого участка данной линии (например, обрыв провода) прервут ваш разговор. При этом, если соединение нормальное, это означает, что выделенная вам часть сети для других уже недоступна.

Когда вы получаете на свой персональный компьютер *Web*-страницы с удаленного сервера, происходит совсем другой процесс. Послание разбивается на отдельные порции данных - группы пакетов. Каждый пакет посылается на место назначения по наиболее оптимальному из доступных путей. Если какой-то пакет теряется, система посылает его заново. Поэтому, даже если какой-то участок Сети окажется нарушенным, это не повлияет на доставку пакета, который будет направлен по альтернативному пути. Таким образом, во время доставки данных между двумя пользователями нет необходимости в фиксированной линии связи.

2.1 История Интернета

Сеть Интернет задумывалась как сеть, устойчивая к повреждениям.

Отдельные черты Интернета были предсказаны писателями-фантастами.

Русский писатель, философ и общественный деятель XIX века Владимир Одоевский (1803-1869) в своём незаконченном утопическом романе «4338-й год», написанном в 1837 году, похоже, первым предсказал появление современных блогов и Интернета. В тексте романа есть строки «между знакомыми домами устроены магнетические телеграфы, посредством которых живущие на далёком расстоянии, общаются друг с другом». Идею применения электрической информационной связи для целей бизнеса упоминал в 1908 Никола Тесла. Когда проект будет завершён, бизнесмен в Нью-Йорке сможет диктовать указания, и они будут немедленно появляться в его офисе в Лондоне или любом другом месте. Он сможет со своего рабочего места позвонить любому абоненту на планете, не меняя существующего оборудования. Дешёвое устройство, по размерам не больше чем часы, позволит его обладателю слушать музыку речи политиков, проповеди священников, доставляемые на большие расстояния. Таким же образом любое изображение, символ, рисунок, текст могут быть переданы из одного места в другое. Миллионы таких устройств могут контролироваться единственной станцией. И самое главное, что все это будет передаваться без проводов...

В рассказе Мюррея Лейнстера «Логик по имени Джо» (1946) весьма точно предсказан Интернет и связанные с ним проблемы и опасности. Логик (компьютеры), объединённые в мировую сеть, контролируют банки, телекоммуникации, авиарейсы и многое-многое другое. Бракованный логик Джо по заданию пользователей ищет в сети людей, рецепты изготовления бомбы на дому и все в этом роде, очень хорошо знакомое современному юзеру. Также появление Интернета было предсказано советскими писателями-фантастами братьями Стругацкими - Большой Всепланетный Информаторий в повести «Жук в муравейнике» (1979) и Сергеем Снеговым - Большая Академическая Машина в романе «Люди как боги» (1966).

После запуска СССР искусственного спутника Земли в 1957 Министерство обороны США посчитало, что на случай войны Америке нужна надёжная система передачи информации. Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США предложило разработать для этого компьютерную сеть. Разработка такой сети была поручена Калифорнийскому университету в Лос-Анжелесе, Стенфордскому исследовательскому центру, Университету штата Юта и Университету штата Калифорния в Санта-Барбаре. Компьютерная сеть была названа *ARPANET* (*Advanced Research Projects Agency Network*), и в 1969 в рамках проекта сеть объединила четыре указанных научных учреждения. Сеть *ARPAnet* - первая экспериментальная компьютерная сеть национального масштаба. Она была создана в целях поддержки научных исследований Министерства обороны США. Узлы сети были связаны физическими выделенными линиями, а передача и приём данных обеспечивалась специальными программами, работающими на узловых компьютерах.

Сеть изначально предполагалась ненадёжной - исследовалась возможность передачи данных в сети, отдельные фрагменты которой могут перестать функционировать в любой произвольный момент. Программные системы, в которые были заложены принципы искусственного интеллекта, должны были отыскивать работающие сегменты сети и «прокладывать! новые маршруты передачи данных. Выход из строя любого канала связи не должен был вывести такую сеть из строя. При этом общий алгоритм был основан на допущении, что любой компьютер мог связаться с любым «ответившим» компьютером как «равный с равным». Реально сеть стала использоваться для обмена сообщениями (*E-mail*) и файлового обмена (*File-oriented Interchange*).

Будучи созданной сеть *ARPANET* начала активно расти и развиваться, её начали использовать учёные из разных областей науки. Первый сервер *ARPANET* был установлен 1.09.1969 в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Компьютер «*Honeywell 516*» имел 12 КБ оперативной памяти. К 1971 была разработана первая программа для отправки электронной почты по сети, программа сразу стала очень популярна. В 1973 к сети были подключены через трансатлантический телефонный кабель первые иностранные организации из Великобритании и Норвегии, сеть стала международной. В 1970-х сеть в основном использовалась для пересылки электронной почты, тогда же появились первые списки почтовой рассылки, новостные группы и доски объявлений. Однако в то время сеть ещё не могла легко взаимодействовать с другими сетями, построенными на других технических стандартах. К концу 1970-х годов начали бурно развиваться протоколы передачи данных, которые были стандартизированы в 1982-83 годах. 1.01.1983 1983 года сеть *ARPANET* перешла с протокола *NCP* на *TCP/IP*, который успешно применяется до сих пор для объединения сетей. Именно в 1983 термин «Интернет» закрепился за сетью *ARPANET*. В 1984 была разработана система доменных имён (*Domain Name System, DNS*).

Примерно в это же время появились локальные вычислительные сети (*Local Area Network - LAN*) и компьютеры с операционной системой UNIX, которые, помимо чисто вычислительных задач, стали обслуживать эти сети. Они получили название рабочие станции. ОС UNIX была выбрана потому, что в нее была заложена возможность работать с IP-протоколами, которые содержали:

правила инициализации и поддержания работы в сети;
описание информационных сетевых пакетов (пакетов данных) семейства IP;
правила обращения с IP-пакетами (идентификация, проверка целостности, обработка, пересылка, прием и т. д.).

Эти решения оказались успешными, стандартизация протоколов позволила подключать к сети компьютеры с различным базовым программным обеспечением. Появилось понятие "трафик", трактуемое в единицах обмена информацией, которым стали измерять реальную загрузку сети. Технология передачи данных IP-пакетами оказалась чрезвычайно перспективной в техническом отношении, однако в чисто пользовательском плане ее необходимо было дорабатывать, так как скорость передачи данных не могла компенсировать значительные затраты времени на поиск нужной информации в огромных массивах данных.

В 1984 году у сети *ARPANET* появился серьезный соперник, Национальный научный фонд США (NSF) основал обширную межуниверситетскую сеть *NSFNet (National Science Foundation Network)*, которая была составлена из более мелких сетей и имела гораздо большую пропускную способность, чем *ARPANET*. К этой сети за год подключились около 10 тыс. компьютеров, звание «Интернет» начало плавно переходить к *NSFNet*. В 1988 был изобретён протокол *Internet Relay Chat (IRC)*, благодаря чему в Интернете стало возможно общение в реальном времени (чат).

В 1989 в Европе, в стенах Европейского совета по ядерным исследованиям (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN, Женева*) родилась концепция распределенной информационной системы с целью «объединения знаний человечества», которая была названа «Всемирной паутиной» (*World Wide Web - WWW*). Её предложил британский учёный Тим Бернерс-Ли, он же в течение двух лет разработал протокол *HTTP*, язык *HTML* и идентификаторы *URI*. Для Паутины были объединены две существующие технологии - технология применения *IP*-протоколов для передачи данных и технология гипертекста (*Hypertext Technology*). Эта технология основана на реализации быстрого перехода от одного фрагмента текста к другому по выделенным ссылкам (*Dedicated Links*), при этом указанные фрагменты могут располагаться на физически разделенных компьютерных носителях. Информационная система, построенная на этих принципах, могла объединить множество информационных ресурсов, разбросанных по многочисленным открытым базам данных. Основная метафора *Web*-гипертекста - это «электронная книга» с автоматически поддерживаемыми мгновенными переходами по ссылкам. Сам же термин гипертекст был впервые предложен Тедом Нельсоном в 1965, а первую работающую гипертекстовую систему создал в 1968 Дуг Энгельбард.

В 1990 сеть *ARPANET* прекратила своё существование, полностью проиграв конкуренцию *NSFNet*. В том же году было зафиксировано первое подключение к Интернету по телефонной линии (т. н. «дозвон» - *Dialup access*). В 1991 Всемирная паутина стала общедоступна в Интернете, а в 1993 появился знаменитый веб-браузер *NCSA Mosaic*. Браузер (*Browser*) - компьютерная программа просмотра гипертекста, - работавший в режиме командной строки. Его применение позволило успешно реализовать предложенный проект, направленный в конечном итоге на создание «бесшовного информационного пространства» (*Seamless Informational Area*), охватывающего всю планету. С точки зрения пользователя, информационное пространство всемирной паутины состоит из документов различного формата (мультимедиа-документов), предметных указателей и ссылок. Для перехода по ссылке или поиска по указателю пользователь применяет соответствующий браузер, понимающий язык разметки гипертекста. Поисковая система отыскивает по ссылке или ключевым словам в паутине нужный каталог, читает его структуру, считывает нужный документ и пересылает его пользователю. *Web*-сервер автоматически генерирует гипертекстовое представление требуемых файлов по запросам пользователя.

Всемирная паутина набирала популярность. В 1995 *NSFNet* вернулась к роли исследовательской сети, маршрутизацией всего трафика Интернета теперь занимались сетевые провайдеры, а не суперкомпьютеры Национального научного фонда. В том же 1995 Всемирная паутина стала основным поставщиком информации в Интернете, обогнав по трафику протокол пересылки файлов *FTP*, был образован Консорциум всемирной паутины (*W3C*). Можно сказать, что Всемирная паутина преобразила Интернет и создала его современный облик. С 1996 Всемирная паутина почти полностью подменяет собой понятие «Интернет».

В 1990-е Интернет объединил в себе большинство существовавших тогда сетей (хотя некоторые, как Фидонет, остались обособленными). Объединение выглядело привлекательным благодаря отсутствию единого руководства, а также благодаря открытости технических стандартов Интернета, что делало сети независимыми от бизнеса и конкретных компаний. К 1997 в Интернете насчитывалось уже 10 млн компьютеров, было зарегистрировано 1 млн доменных имён. Интернет стал очень популярным средством обмена информацией.

В 1994 ливер Мак-Брайан из Колорадского университета (США) разработал одно из первых автоматических средств составления предметного указателя для *WWW*, названное *WWW-Worm*. За несколько минут *Worm* формировал базу данных из 300000 мультимедийных объектов, которые можно было находить по ключевым словам. Можно считать, что с этого момента информационное пространство *World Wide Web* было в принципе сформировано (Рис.3). Дальнейшее развитие шло по линии совершенствования технологий поиска, передачи, обеспечения безопасности, разработки и стандартизации различных *Web*-интерфейсов, повышающих комфорт использования *Web*-технологий. С середины 90-х годов эти технологии стали находить все более широкое применение во многих сферах человеческой деятельности.

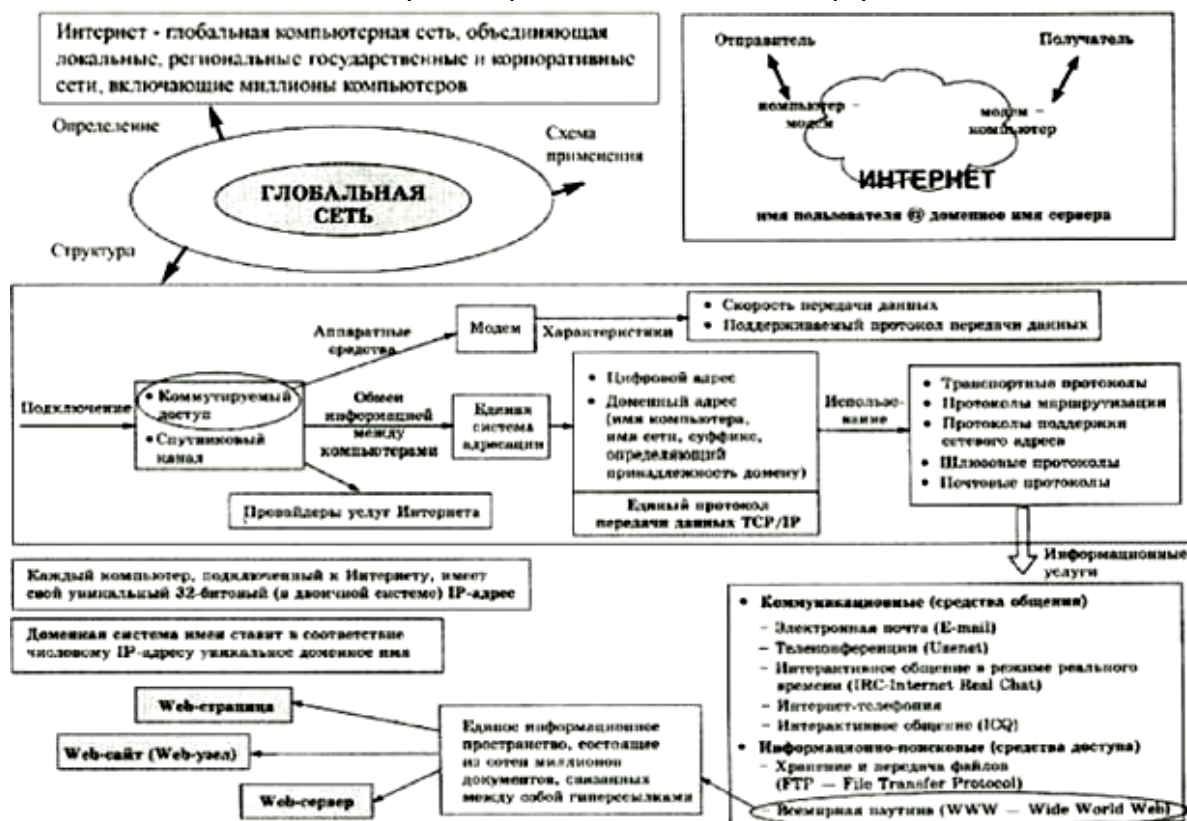


Рис. 3. Информационное пространство WWW

В 1998 папа римский Иоанн Павел II учредил всемирный День Интернета (30 сентября).

В настоящее время подключиться к Интернету можно через спутники связи, радио-каналы, кабельное телевидение, телефон, сотовую связь, специальные оптоволоконные линии или электропровода. Всемирная сеть стала неотъемлемой частью жизни в развитых и развивающихся странах. Интернет быстро достиг аудитории свыше 50 миллионов пользователей.

2.2 Рунет

Рунет – русскоязычная часть всемирной сети Интернет. Более узкое определение гласит, что Рунет - это часть Всемирной паутины, принадлежащая к национальным доменам [.ru](http://ru) и [.su](http://su).

1987-94 годы стали ключевыми в зарождении русскоязычного Интернета. 28.08.1990 года профессиональная научная сеть, выросшая в недрах Института атомной энергии им. И.В.Курчатова и ИПК Минавтопрома, объединившая учёных-физиков и программистов, соединилась с мировой сетью Интернет, положив начало современным российским сетям. 19.09.1990 был зарегистрирован домен первого уровня [.su](http://su) в базе данных Международного информационного центра *IntetNIC*. В результате этого СССР стал доступен через Интернет. 7/04/1994 в *InterNIC* был зарегистрирован российский домен [.ru](http://ru).

2.3 Всемирная паутина

Всемирная паутина (*World Wide Web*) - распределенная система, предоставляющая доступ к связанным между собой документам, расположенным на различных компьютерах, подключенных к Интернету. Всемирную паутину образуют более миллиона *web*-серверов. Большинство ресурсов всемирной паутины представляет собой гипертекст. Гипертекстовые документы, размещаемые во всемирной паутине, называются *web*-страницами. Несколько *web*-страниц, объединенных общей темой, дизайном, а также связанных между собой ссылками и обычно находящихся на одном и том же *web*-сервере, называются *web*-

сайтом. Для загрузки и просмотра *web*-страниц используются специальные программы браузеры. Всемирная паутина вызвала настоящую революцию в информационных технологиях и бум в развитии Интернета. Часто, говоря об Интернете, имеют в виду именно Всемирную паутину, однако важно понимать, что это не одно и то же. Для обозначения Всемирной паутины также используют слово веб (*web*) и «*WWW*».

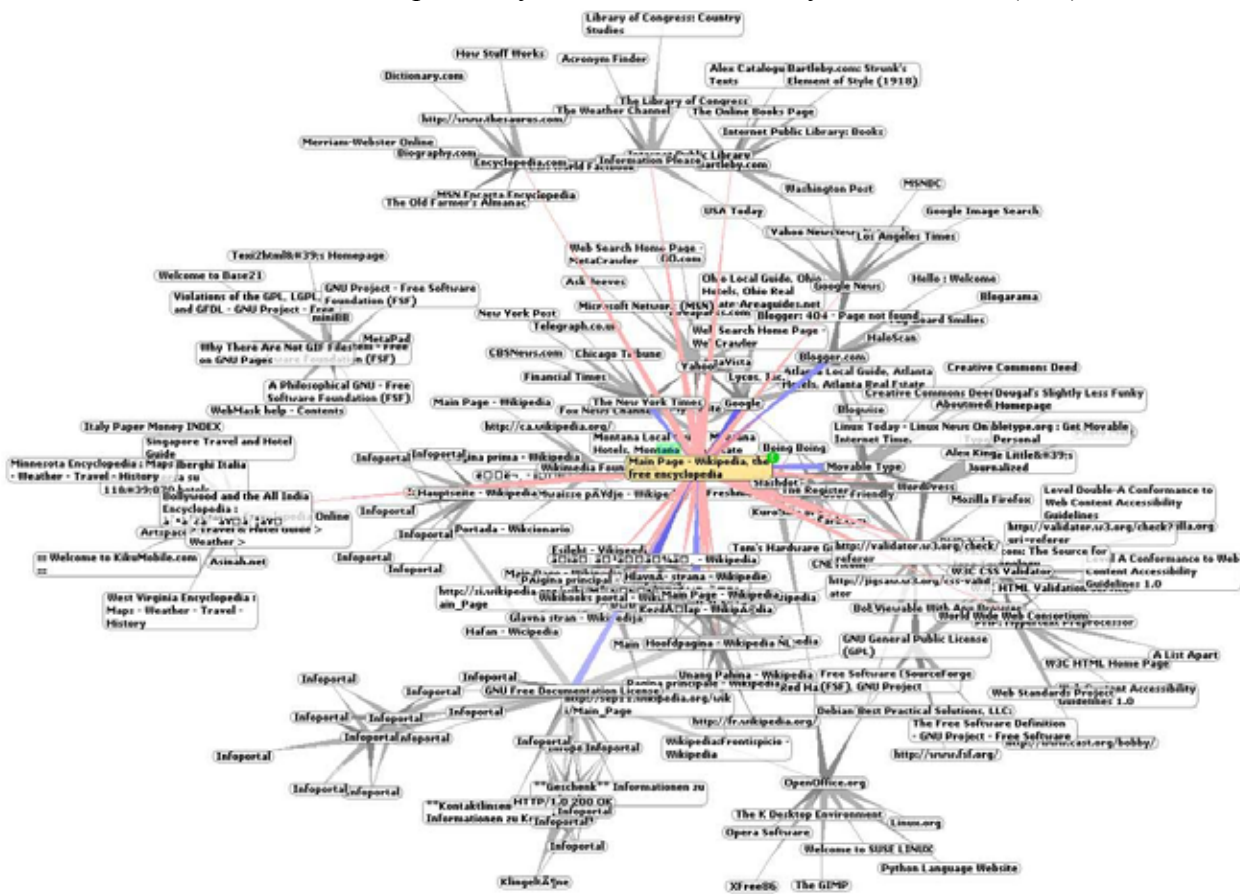


Рис. 4. Графическое изображение информации во Всемирной паутине

Основными элементами технологии *WWW* являются:

- язык гипертекстовой разметки документов (*Hyper Text Markup Language - HTML*);
- протокол обмена гипертекстовой информацией (*Hyper Text Transfer Protocol - HTTP*);
- универсальный способ адресации ресурсов в сети (*Universal Resource Identifier - URI, u Universal Resource Locator - URL*);
- система доменных имен (*Domain Name System - DNS*);
- универсальный интерфейс шлюзов (*Common Gateway Interface - CGI*), добавленный позже сотрудниками Национального Центра Суперкомпьютерных Приложений (*National Center for Supercomputing Applications - NCSA*).
- расширяемый язык разметки (*eXtensible Markup Language - XML*), рекомендованный Консорциумом Всемирной паутины.

Всемирную паутину образуют миллионы веб-серверов сети Интернет, расположенные по всему миру. Веб-сервер является программой, запускаемой на подключённом к сети компьютере и использующей протокол *HTTP* для передачи данных. В простейшем виде такая программа получает по сети *HTTP*-запрос на определённый ресурс, находит соответствующий файл на локальном жёстком диске и отправляет его по сети запросившему компьютеру. Более сложные веб-серверы способны динамически распределять ресурсы в ответ на *HTTP*-запрос. Для идентификации ресурсов (зачастую файлов или их частей) во Всемирной паутине используются единообразные идентификаторы ресурсов *URI* (*Uniform Resource Identifier*). Для определения местонахождения ресурсов в сети используются единообразные локаторы ресурсов *URL* (*Uniform Resource Locator*). Такие *URL*-локаторы сочетают в себе технологию идентификации *URI* и систему доменных имён *DNS* (*Domain Name System*) - доменное имя (или непосредственно *IP*-адрес в числовой записи) входит в состав *URL* для обозначения компьютера (точнее - одного из его сетевых интерфейсов), который исполняет код нужного веб-сервера.

Для просмотра информации, полученной от веб-сервера, на клиентском компьютере применяется

специальная программа – веб-браузер. Основная функция веб-браузера - отображение гипертекста. Всемирная паутина неразрывно связана с понятиями гипертекста и гиперссылки. Большая часть информации в Вебе представляет собой именно гипертекст. Для облегчения создания, хранения и отображения гипертекста во Всемирной паутине традиционно используется язык HTML (*HyperText Markup Language*), язык разметки гипертекста. Работа по разметке гипертекста называется вёрсткой, мастера по разметке называют веб-мастером или вебмастером (без дефиса). После HTML-разметки получившийся гипертекст помещается в файл, такой HTML-файл является самым распространённым ресурсом Всемирной паутины. После того, как HTML-файл становится доступен веб-серверу, его начинают называть «веб-страницей». Набор веб-страниц образует веб-сайт. В гипертекст веб-страниц добавляются гиперссылки. Гиперссылки помогают пользователям Всемирной паутины легко перемещаться между ресурсами (файлами) вне зависимости от того, находятся ресурсы на локальном компьютере или на удалённом сервере. Гиперссылки веба основаны на технологии URL.

Всемирная паутина стоит на «трёх китах»: HTTP, HTML и URL. Хотя в последнее время HTML начал несколько сдавать свои позиции и уступать их более современным технологиям разметки: XHTML и XML. XML (*Xhensible Markup Language*) позиционируется как фундамент для других языков разметки. Для улучшения визуального восприятия веба стала широко применяться технология CSS, которая позволяет задавать единые стили оформления для множества веб-страниц. Ещё одно нововведение, на которое стоит обратить внимание, - система обозначения ресурсов URN (*Uniform Resource Name*).

Популярная концепция развития Всемирной паутины – создание семантической паутины. Семантическая паутина - это надстройка над существующей Всемирной паутиной, которая призвана сделать размещённую в сети информацию более понятной для компьютеров. Здесь каждый ресурс на человеческом языке снабжён описанием, понятным компьютеру. Семантическая паутина открывает доступ к чётко структурированной информации для любых приложений, независимо от платформы и независимо от языков программирования. Программы могут сами находить нужные ресурсы, обрабатывать информацию, классифицировать данные, выявлять логические связи, делать выводы и даже принимать решения на основе этих выводов. Для создания понятного компьютеру описания ресурса, в семантической паутине используется формат RDF (*Resource Description Framework*), основанный на синтаксисе XML, и использует идентификаторы URI для обозначения ресурсов. Новинки в этой области - это RDFS (*RDF Schema*) и SPARQL (*Protocol And RDF Query Language*) (произносится как «спаркл»), новый язык запросов для быстрого доступа к данным RDF.

Изобретателями всемирной паутины считаются Тим Бернерс-Ли и, в меньшей степени, Роберт Кайо. Тим Бернерс-Ли является автором технологий HTTP, URI/URL и HTML. В 1980 он работал в Европейском совете по ядерным исследованиям (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN*) консультантом по программному обеспечению. Именно там, в Женеве (Швейцария), он для собственных нужд написал программу «Энквайр» (*«Enquire»*, можно перевести как «Дознаватель»), которая использовала случайные ассоциации для хранения данных и заложила концептуальную основу для Всемирной паутины. В 1989, работая в CERN над внутренней сетью организации, Тим Бернерс-Ли предложил глобальный гипертекстовый проект, теперь известный как Всемирная паутина. Проект подразумевал публикацию гипертекстовых документов документов, связанных между собой гиперссылками, что облегчило бы поиск и консолидацию информации для учёных CERN. Для осуществления проекта Тимом Бернерсом-Ли были изобретены идентификаторы URI, протокол HTTP и язык HTML. В рамках проекта Бернерс-Ли написал первый в мире веб-сервер «httpd» и первый в мире гипертекстовый веб-браузер, называвшийся «WorldWideWeb». Этот браузер был одновременно и WYSIWY-редактором (*What You See Is What You Get* - что видишь, то и получишь), его разработка была начата и закончена в 1990, а закончена в декабре того же года. Программа работала в среде «NeXTStep» и начала распространяться по Интернету летом 1991.

Язык гипертекстовой разметки HTML создан на опыте использования редактора TeX и системно- и аппаратно-независимых методов представления текста в электронной форме (*Standard Generalized Markup Language - SGML*, стандарт ISO 8879). Основная идея гипертекста заключается в присутствии внутри ASCII-текста форматирующих полей и ссылок как на части внутри документа, так и на другие документы. Благодаря этому можно просматривать документы в том порядке, в каком требуется, а не последовательно, как при чтении книг. База данных гипертекста является частью файловой системы, которая содержит текстовые файлы в формате HTML и связанные с ними графику, мультимедиа и другие ресурсы.

Текстовый формат XML добавился позже и был предназначен для описания систем хранения структурированных данных. Целью создания формата XML было обеспечение совместимости при передаче структурированных данных между разными системами обработки информации, особенно при передаче таких данных через Интернет, а также для создания на его основе более специализированных языков

разметки, называемых словарями. Словари, основанные на *XML*, формально описаны, что позволяет программно изменять и проверять документы на основе этих словарей, не зная их семантики, т. е. не зная смыслового значения элементов. Важной особенностью *XML* является применение пространств имён (*Name Space*).

Первый в мире веб-сайт Бернерс-Ли создал 6.08.1991 по адресу <http://info.cern.ch/>, теперь сайт хранится в архиве.. На этом сайте описывалось, что такое Всемирная паутина, как установить веб-сервер, как использовать браузер и т. п. Этот сайт также являлся первым в мире интернет-каталогом, потому что позже Тим Бернерс-Ли разместил и поддерживал там список ссылок на другие сайты.



И всё же теоретические основы веба были заложены гораздо раньше Бернерса-Ли. Ещё в 1945 Ваннавер Буш разработал концепцию «*Memex*» - вспомогательных механических средств «расширения человеческой памяти». *Memex* - устройство, в котором человек хранит все свои книги и записи (а в идеале - и все свои знания, поддающиеся формальному описанию) и которое выдаёт нужную информацию с достаточной скоростью и гибкостью. Оно является расширением и дополнением памяти человека. Бушем было также предсказано всеобъемлющее индексирование текстов и мультимедийных ресурсов с возможностью быстрого поиска необходимой информации. Следующим значительным шагом на пути ко Всемирной паутине было создание гипертекста (термин введён Тедом Нельсоном в 1965. С 1994 основную работу по развитию Всемирной паутины взял на себя Консорциум Всемирной паутины (*World Wide Web Consortium, W3C*). Данный Консорциум - организация, разрабатывающая и внедряющая технологические стандарты для Интернета и Всемирной паутины. Миссия *W3C*: «Полностью раскрыть потенциал Всемирной паутины путём создания протоколов и принципов, гарантирующих долгосрочное развитие Сети». Две другие важнейшие задачи Консорциума - обеспечить полную «интернационализацию Сети» и сделать Сеть доступной для людей с ограниченными возможностями. *W3C* разрабатывает для Интернета единые принципы и стандарты (рекомендации), которые затем внедряются производителями программ и оборудования. Таким образом, достигается совместимость между программными продуктами и аппаратурой различных компаний, что делает Всемирную сеть более совершенной, универсальной и удобной. Все Рекомендации Консорциума Всемирной паутины открыты, то есть не защищены патентами и могут внедряться любым человеком без всяких финансовых отчислений консорциуму.

В настоящее время наметились две тенденции в развитии Всемирной паутины: семантическая и социальная. Семантическая паутина предполагает улучшение связности и релевантности информации во Всемирной паутине через введение новых форматов метаданных. Социальная паутина полагается на работу по упорядочиванию имеющейся в Паутине информации, выполняемую самими пользователями Паутины. В рамках второго направления наработки, являющиеся частью семантической паутины, активно используются в качестве инструментов (*RSS* и другие форматы веб-каналов, *OPML*, микроформаты *XHTML*). Существует также популярное понятие *Web 2.0*, обобщающее сразу несколько направлений развития Всемирной паутины.

Информация в вебе может отображаться как пассивно (то есть пользователь может только считывать её), так и активно - тогда пользователь может добавлять информацию и редактировать её. К способам активного отображения информации во Всемирной паутине относятся: гостевые книги, форумы, чаты, блоги,

wiki-проекты, системы управления контентом. Следует отметить, что это деление весьма условно. Так, скажем, блог или гостевую книгу можно рассматривать как частный случай форума, который, в свою очередь, является частным случаем системы управления контентом. Обычно разница проявляется в назначении, подходе и позиционировании того или иного продукта. Отчасти информация с сайтов может также быть доступна через речь.

Компьютерные коммуникации Адресация в Интернет

Каждый компьютер в Интернете имеет свой уникальный адрес, в чем-то подобный почтовому индексу. Адрес разделен на 4 блока, например: 195.124.90.255

Т.к. имена легче запомнить, в Интернете, кроме системы адресации, была введена удобная система имен, получившая название **доменной**.

Пример адреса:

sch135.spb.ru

Домен второго уровня (sch135 - школа №135) Домен высшего уровня (ru - Россия)
Домен первого уровня (spb - Санкт-Петербург)

Домен - это имя сервера, к которому пользователь обращается за информацией.

URL - адрес Web-документа в сети (комбинация названия **протокола** **передачи документа**, **домена**, **каталога** и **имени файла**). Компоненты **каталог** и **имя файла** позволяют разыскать нужный объект в иерархической структуре файлов домена.

Пример адреса:

http://www.sport.ru/sky/victory.htm

Протокол передачи данных Домен (имя сервера) Каталог Имя файла

Перечислим организации, занимающиеся развитием Всемирной паутины и Интернета в целом: *World Wide Web Consortium, W3C; The Internet Engineering Task Force, IETF; Internet Society, ISOC; International Organization for Standardization, ISO; Web Standards Group, WSG; The Web Standards Project; Unicode Organization; The Semantic Web Community Portal.*

3. АДРЕСАЦИЯ В ИНТЕРНЕТЕ

Интернет состоит из многих тысяч корпоративных, научных, правительственных и домашних компьютерных сетей. Объединение сетей разной архитектуры и топологии стало возможно благодаря протоколу *IP (Internet Protocol)* и принципу маршрутизации пакетов данных.

3.1 IP-Адрес

Чтобы компьютеры, объединенные в сеть, могли обмениваться сообщениями, каждый из них должен иметь **уникальный** адрес. В сети Интернет это *32-х разрядный* (т.е. 32-х битный = 4-х байтный) **адрес**, называемый *IP-адрес*.

Табл. 1. Адреса в сети Интернет

IP-адрес двоичный	11011100	11010111	00001110	00010110
IP-адрес десятичный	220	215	14	22

В точно-десятичной нотации IP-адрес выглядит, например, так: *220.215.14.22*. Каждая часть, разделенная точкой, представляет собой один байт, и, следовательно, максимальное десятичное число, которое может быть представлено одним байтом 255 ($2^8=256$, от 0 до 255). Но, для человека такая система адресации сложна, так же как нам сложно помнить, набирать и диктовать одиннадцатизначные телефонные номера, поэтому в 1984 году Полом Мокапетрисом была разработана *надстройка над IP-адресацией*, называемая системой *DNS (domain name system, система доменных имен)*.

Протокол *IP* был специально создан агностическим в отношении физических каналов связи. То есть любая система (сеть) передачи цифровых данных, проводная или беспроводная, для которой существует стандарт инкапсуляция в неё *IP*-пакетов, может передавать и трафик Интернета. Агностицизм протокола *IP*, в частности, означает, что компьютер или маршрутизатор должен знать тип сетей, к которым он непосредственно присоединён, и уметь работать с этими сетями; но не обязан (и в большинстве случаев не может) знать, какие сети находятся за маршрутизаторами.

На стыках сетей специальные маршрутизаторы (программные или аппаратные) занимаются автоматической сортировкой и перенаправлением пакетов данных, исходя из *IP*-адресов получателей этих пакетов. Протокол *IP* образует единое адресное пространство в масштабах всего мира, но в каждой

отдельной сети может существовать и собственное адресное подпространство, которое выбирается исходя из класса сети. Такая организация IP-адресов позволяет маршрутизаторам однозначно определять дальнейшее направление для каждого пакета данных. В результате между отдельными сетями Интернета не возникает конфликтов, и данные беспрепятственно и точно передаются из сети в сеть по всей планете и ближайшему космосу.

Компьютерные коммуникации
Технология WWW

WWW (World Wide Web) - средства создания, просмотра и работы с гипертекстовыми документами.

Гипертекст - текст со ссылками на информацию, которая находится возможно на другом компьютере.

Протокол - единые правила по передаче данных.

Гиперссылка представляет собой URL (Uniform Resource Location) - местонахождение, адрес Web-документа в сети.

Чаще всего гиперссылка выделяется на экране монитора с помощью **изменения цвета и подчеркивания**.

Гиперссылкой может быть графическое изображение.

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) - протокол передачи для гипертекстовых документов.

Браузер - программа, служащая для просмотра Web-документов, т. е. обеспечивающая переход на другой объект в соответствии с гиперссылкой.

Netscape Navigator

Microsoft Internet Explorer




3.2 Протоколы

Для того чтобы при обмене данными компьютеры, объединенные в сеть, действовали согласованно, разработан ряд стандартов и правил, называемых *протоколами*. Весь набор сетевых протоколов, на которых базируется Интернет называется *TCP/IP* (ти си пи ай пи). Название образовано из аббревиатур двух базовых протоколов - *TCP*, отвечающего за гарантированную транспортировку данных по каналам связи, и *IP*, содержащего правила адресации.

Протокол - «язык», используемый компьютерами для обмена данными при работе в сети. Чтобы различные компьютеры сети могли взаимодействовать, они должны «разговаривать» на одном «языке», то есть использовать один и тот же протокол. Проще говоря, протокол - это правила передачи данных между узлами компьютерной сети. Систему протоколов Интернет называют «стеком протоколов *TCP/IP*». Наиболее распространённые Интернет-протоколы (в алфавитном порядке, сгруппированные в примерном соответствии модели *OSI*):

Уровень <i>OSI</i>	Протоколы, примерно соответствующие уровню <i>OSI</i>
Прикладной	DNS, FTP, HTTP, HTTPS, IMAP, LDAP, POP3, SNMP, SMTP, SSH, Telnet, XMPP (Jabber)
Сеансовый/Представления	SSL, TLS
Транспортный	TCP, UDP
Сетевой	BGP, EIGRP, ICMP, IGMP, IP, IS-IS, OSPF, RIP
Канальный	Arcnet, ATM, Ethernet, Frame relay, HDLC, PPP, SLIP, Token ring

Есть ещё целый ряд протоколов, ещё не стандартизированных, но уже очень популярных в Интернете:

OSCAR BitTorrent
CDDDB Gnutella
MFTP (сеть eDonkey2000) Skype

Эти протоколы в большинстве своём нужны для обмена файлами и текстовыми сообщениями, на некоторых из них построены целые файлообменные сети.

Протоколы, входящие в семейство *TCP/IP* разделяются на уровни.

Физический уровень описывает среду передачи данных (будь то кабель, оптоволокно или радиоканал), физические характеристики такой среды и принцип передачи данных (разделение каналов, модуляцию, амплитуду сигналов, частоту сигналов, способ синхронизации передачи, время ожидания ответа и максимальное расстояние).

Канальный уровень описывает, каким образом передаются пакеты данных через физический уровень, включая кодирование (т.е. специальные последовательности битов, определяющих начало и конец пакета данных). Примеры протоколов канального уровня - *Ethernet*, *IEEE 802.11 Wireless Ethernet*, *SLIP*, *Token Ring*, *ATM* и *MPLS*.

Сетевой уровень изначально разработан для передачи данных из одной сети (подсети) в другую.

Протоколы **транспортного уровня** могут решать проблему гарантированной доставки сообщений («дошло ли сообщение до адресата?»), а также гарантировать правильную последовательность прихода данных. Транспортные протоколы определяют, для какого именно приложения предназначены эти данные.

На **прикладном уровне** работает большинство сетевых приложений. Эти программы имеют свои собственные протоколы обмена информацией, например, *HTTP* для *WWW*, *FTP* (передача файлов), *SMTP* (электронная почта), *SSH* (безопасное соединение с удалённой машиной), *DNS* (преобразование символьных имён в *IP*-адреса) и многие другие.

3.3 DNS - система доменных имен

Доменные имена системы *DNS* – синонимы *IP*-адреса, так же, как имена в адресной книжке вашего телефона – синонимы телефонных номеров. Они символьные, а не числовые; они удобнее для запоминания и ориентации; они несут смысловую нагрузку.

www.irnet.ru → таблицы *DNS* → 193.232.70.36

Доменные имена также уникальны, т.е. нет в мире двух одинаковых доменных имён. Доменные имена, в отличие от *IP*-адресов необязательны, они приобретаются дополнительно.

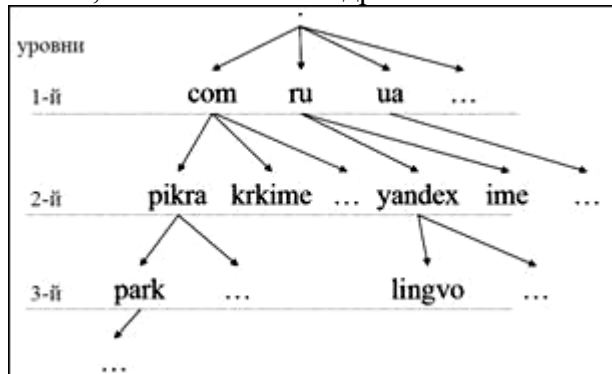


Рис. 5. Иерархия в системе *DNS*.

Так же уникальны адреса, которые указываются на конвертах при доставке писем обычной почтой. В мире нет стран с одинаковыми названиями. И если названия городов иногда и повторяются, то в сочетании с делением на более крупные административные единицы типа районов и областей они становятся уникальными. А названия улиц не должны повторяться в пределах одного города. Таким образом, адрес на основе географических и административных названий

однозначно определяет точку назначения. Домены имеют аналогичную иерархию. Имена доменов отделяются друг от друга точками: *lingvo.yandex.ru*, *krkime.com*. Домены *первого уровня* разделяются на *тематические* и *географические*.

3.4 Система адресации URL

Чтобы найти в Интернете какой-либо документ, достаточно знать *ссылку* на него - так называемый **универсальный указатель ресурса** (*URL - Uniform Resource Locator*), который определяет местонахождение каждого файла, хранящегося на компьютере, подключенном к Интернету. Адрес *URL* является сетевым расширением понятия полного имени ресурса в операционной системе. В *URL*, кроме имени файла и директории, где он находится, указывается сетевое имя компьютера, на котором этот ресурс расположен, и протокол доступа к ресурсу, который можно использовать для обращения к нему. Система адресации *URL* и адресация почтовой службы имеют сходную структуру.

Рассмотрим структуру следующего *URL*: *http://www.lipunov.msk.ru/prochn/lab/IVANOV.htm* .

Первая часть *http://* (*HyperText Transfer Protocol* - протокол передачи гипертекста, по которому обеспечивается доставка документа с *Web*-сервера *Web*-браузеру) указывает программе просмотра (браузеру), что для доступа к ресурсу применяется данный сетевой протокол. Схема указания способа доступа перед указанием адреса наверняка Вам встречалась и прежде. Например, если на визитке вы видите запись вроде: *тел: 91-22-70*, *факс: 44-92-18*, то, очевидно, что по первому номеру возможен телефонный разговор, а по второму - отправка факса. Аналогично в *URL* первым стоит указатель на тип доступа к запрашиваемому файлу, а затем его адрес. Вторая часть *www.lipunov.msk.ru* указывает на доменное имя и адресует конкретный компьютер. Третья часть *prochn/lab/IVANOV.htm* показывает программе-клиенту, где на данном компьютере-сервере искать ресурс. В рассматриваемом случае ресурсом является файл в формате *html*, а именно *IVANOV.htm*, который находится в папке *lab*, которая в свою очередь расположена в папке *prochn*. Имена каталогов, содержащиеся в *URL*, обычно являются виртуальными и не имеют ничего общего

с реальными именами каталогов компьютера, на котором выполняется *Web*-сервер, а являются их псевдонимами: ни один владелец компьютера, на котором выполняется *Web-сервер*, не позволит постороннему пользователю, обращающемуся к *Web*-серверу через Интернет, получить доступ к реальной файловой системе этого компьютера.

3.5 Сервисы Интернета

Интернет является совокупностью эффективных методов коммуникации (на базе современных стандартизированных протоколов связи) и работы с информацией, находящейся на удаленных носителях. Кроме непосредственных функций по транзиту данных любых типов технологии Интернет обеспечивают широкий спектр разнообразных информационных услуг, реализуемых различными службами:

- служба пересылки и приема сообщений (*E-mail*);
- служба гипертекстовой среды (*WWW*);
- служба передачи файлов (*File Transfer Protocol - FTP*);
- служба удаленного управления компьютером (*Teletype Network - Telnet*);
- служба имен доменов (*Domain Name System*);
- служба телеконференций (*Users Network - Usenet*) и чат-конференций (Интернет *Relay Chat - IRC*).

Программная индустрия для *Web* испытывает сейчас настоящий бум: сотни компаний - разработчиков программного обеспечения для *Web* создают новые технологии и инструментальные средства для навигации, работы в Сети и разработки пользовательских приложений. К их числу можно отнести:

- программы просмотра и навигации (браузеры);
- средства поиска и доставки информации (поисковые машины);
- программное обеспечение Интернет и *Web*-серверов, серверные приложения и расширения;
- средства администрирования в сетях;
- клиентские приложения и расширения (*Web*-сервисы);
- инструментальные средства разработки;
- средства обеспечения безопасности.

Инструментальные средства разработки Интернет-приложений разнообразны и включают:

- редакторы гипертекста и графические редакторы;
 - средства разметки карт изображений и конверторы изображений;
 - средства мультимедиа (аудио, анимация, видео);
 - средства генерации виртуальной реальности;
 - средства и языки программирования серверных и клиентских приложений и расширений.
- Сейчас наиболее популярные услуги Интернета - это:

Всемирная паутина	Интернет-радио
Веб-форумы	Интернет-телевидение
Блоги	IP-телефония
Вики-проекты (и, в частности, Википедия)	Мессенджеры
Интернет-магазины	FTP-серверы
Интернет-аукционы	IRC (реализовано также как веб-чаты)
Социальные сети	Поисковые системы
Электронная почта и списки рассылки	Интернет-реклама
Группы новостей (в основном, <i>Usenet</i>)	Удалённые терминалы
Файлообменные сети	Удалённое управление
Электронные платёжные системы	web 2.0

Табл. . Сервисы обмена данными на базе сети Интернет.

<i>E-mail</i> <i>mailto:max@mail.ru</i>	Позволяет обмениваться текстовыми сообщениями, к которым присоединяются файлы любых типов.
<i>ICQ</i> <i>UIN: 189764452</i>	Интернет-пейджер. Служит для персонального интерактивного общения в режиме реального времени.
<i>FTP</i> <i>ftp://ftp.museum.ru</i>	<i>File Transfer Protocol</i> - протокол передачи файлов. Служит для перемещения файлов между компьютерами сети Интернет.
<i>Telnet telnet 10.100.254.254</i>	Позволяет подключаться по Интернет к удаленному компьютеру и работать с ним так, как будто вы находитесь за его терминалом.
<i>WWW</i> <i>http://www.krtime.com</i>	Обеспечивает доступ к гигантскому объему информации: текст, графика, аудио, видео, программы. В основе – технология гипертекста.

Редакторы гипертекста формируют *HTML*-файлы в режимах программирования или *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get*). Можно использовать и обычные текстовые редакторы, а также средства, встроенные в браузеры. К этой же группе относятся конверторы, «перегоняющие» офисные документы в гипертекст. Графические редакторы служат для создания изображений, включаемых в гипертекст.

Средства разметки карт изображений позволяют разбить изображение на участки и связать гиперссылки с каждым из них. Такие средства могут быть встроены в графический редактор. Конверторы изображений обеспечивают преобразование форматов, размеров и цветов, создание специальных эффектов.

Средства мультимедиа предназначены для создания звукового и музыкального сопровождения, анимационных и видеороликов. Часто воспроизведение файлов мультимедиа осуществляется клиентскими расширениями или специальными *Helper*-программами.

Средства генерации виртуальной реальности позволяют запрограммировать трехмерные сцены и управление ими на языке *VRML* (*Virtual Reality Modeling Language*). Ввиду того, что процесс воспроизведения виртуальной реальности достаточно сложен, могут потребоваться дополнительные средства автоматизированного проектирования и анимации. Для просмотра *Web*-страниц с *VRML*-изображениями необходимо использовать соответствующие браузеры, например: *WebSpace* от *Silicon Graphics* или *VRML*-расширения для *Internet Explorer* или *Netscape Navigator*.

Системы программирования клиентских приложений предназначены для разработки и отладки сценариев (на языках *VBScript* или *JavaScript*) и мобильных приложений (на языке *Java*), выполняемых на стороне клиента. Наибольшее удобство и производительность разработки дают средства визуального программирования. В качестве средств программирования серверных приложений могут применяться как обычные системы программирования (*Visual Basic*, *C/C++*, *Java*), так и интерпретаторы команд (*UNIX-shell*, *REXX* и др.) и интерпретаторы и компиляторы сценариев на *JavaScript*, *VBScript* и *Perl*. Для создания клиентских и серверных расширений используются системы программирования, которые позволяют создавать компоненты с использованием механизмов *ActiveX* или *Plug-in*, представленных в виде встроенных или дополнительных библиотек интерфейсов.

Средства администрирования, как правило, поставляются в составе программного обеспечения *Web*-сервера и служат для конфигурирования, активации и мониторинга *Web*-сервисов, для контроля актуальности гиперссылок и связности гипертекстовой структуры, для учета и протоколирования использования серверов, для настройки и сопровождения системы безопасности.

Средства безопасности могут быть встроены в программное обеспечение Интернет-серверов или представлены в виде дополнительных компонентов: комплексов *Firewall* и *Proxy*-серверов, выполняющих фильтрацию данных на различных уровнях.

На ранних стадиях развития сеть Интернет была «улицей с односторонним движением», так как информация с *Web*-страниц поступала к пользователю от *Web*-сервера только при наличии запроса пользователя. С появлением в языке *HTML* диалоговых свойств пользователь получил обратную связь с *Web*-сервером. Обмен параметров при этом осуществляется через специальный графический интерфейс (*Computer Graphical Interface* - *CGI*).

В последнее время все большее распространение получает механизм согласования запускаемых программ через многоцелевые расширения почтовой службы Интернет (*Multipurpose Internet Mail Extensions* - *MIME*). Современные браузеры, помимо взаимодействия с *Web*-серверами через протокол *http*, могут работать с различными типами серверов и служб с использованием протоколов *FTP*, *File*, *Gopher*, *Mailto*, *NNTP*, *Telnet*, *WAIS*. В состав *URL* входит информация о методе доступа, требующаяся браузеру, чтобы использовать любой из этих протоколов.

Intranet - внутреннее информационное пространство организации, реализуемое либо в локальной сети *LAN* (*Local Area Network*), либо в компьютерной сети *WAN* (*Wide Area Network*), охватывающей несколько территорий и включающей в себя десятки и/или сотни тысяч компьютеров) и обладающее всеми возможностями Интернет.

4. КОМПОНЕНТЫ ИНТЕРНЕТА

4.1 Веб-сайт

Веб-сайт (*Website*, от *web* - паутина и *site* - «место») - в компьютерной сети объединённая под одним адресом (Доменным именем или *IP*-адресом) совокупность документов частного лица или организации.

По умолчанию подразумевается что сайт располагается в сети Интернет. Все веб-сайты Интернета в совокупности составляют Всемирную паутину. Для прямого доступа клиентов к веб-сайтам на серверах был специально разработан протокол *HTTP*. Веб-сайты иначе называют Интернет-представительством человека

или организации. Когда говорят «своя страничка в Интернет», то подразумевается целый веб-сайт или личная страница в составе чужого сайта. Кроме веб-сайтов в сети Интернет так же доступны *WAP*-сайты для мобильных телефонов.

Изначально веб-сайты представляли из себя совокупности статических документов. В настоящее время большинству из них свойственна динамичность и интерактивность. Для таких случаев специалисты используют термин веб-приложение - готовый программный комплекс для решения задач веб-сайта. Веб-приложение входит в состав веб-сайта, но веб-приложение без данных сайтом является только технически.

Интерактивность - понятие, которое раскрывает характер и степень взаимодействия между объектами. Используется в областях: теория информации, информатика и программирование, системы телекоммуникаций, социология, промышленный дизайн и других. Интерактивность - способность информационно-коммуникационной системы, без участия человека, активно и разнообразно реагировать на действия пользователя.

В большинстве случаев в Интернете одному веб-сайту соответствует одно доменное имя. Именно по доменным именам сайты идентифицируются в глобальной сети. Возможны иные варианты: один сайт на нескольких доменах или несколько сайтов под одним доменом. Обычно несколько доменов используют крупные сайты (веб-порталы) чтобы логически отделить разные виды предоставляемых услуг (*mail.google.com*, *news.google.com*, *maps.google.com*). Нередки и случаи выделения отдельных доменов для разных стран или языков. Например, *google.ru* и *google.fr* логически являются сайтом *Google* на разных языках, но технически это разные сайты. Объединение нескольких сайтов под одним доменом характерно для бесплатных хостингов. Иногда для идентификации сайтов в адресе после указания хоста стоит тильда и имя сайта: *example.com/~my-site-name/*, иногда используется доменное имя третьего уровня: *my-site-name..example.com*.

Аппаратные сервера для хранения веб-сайтов называются веб-серверами. Сама услуга хранения называется веб-хостингом. Раньше каждый сайт хранился на своём собственном сервере, но с ростом Интернета технологическим улучшением серверов на одном компьютере стало возможно размещение множества сайтов (виртуальный хостинг). Сейчас сервера для хранения только одного сайта называются выделенными. Один и тот же сайт может быть доступен по разным адресам и хранится на разных серверах. Копия оригинального сайта в таком случае называется зеркалом. Существует так же понятие оффлайновая версия сайта - это копия сайта, которая может быть просмотрена на любом компьютере без подключения к компьютерной сети и использования серверного программного обеспечения.

Веб-сайты классифицируются

- по доступности сервисов: открытые - все сервисы полностью доступны для любых посетителей, полуоткрытые - для доступа необходимо зарегистрироваться (обычно бесплатно), закрытые - полностью закрытые служебные сайты организаций (в том числе корпоративные сайты), личные сайты частных лиц (такие сайты доступны для узкого круга людей, доступ новым людям даётся через приглашения);
- по природе содержимого (статические - всё содержимое заранее подготавливается, пользователю выдаются файлы в том виде, в котором они хранятся на сервере); динамические - содержимое генерируется специальными скриптами (программами) на основе других данных из любого источника;
- по физическому расположению (внешние сайты сети Интернет, локальные сайты - доступны только в пределах локальной сети (корпоративные сайты организаций; сайты частных лиц в локальной сети провайдера)
- по схеме представления информации, её объёму и категории решаемых задач можно выделить следующие типы веб-ресурсов: интернет-представительства владельцев (торговля и услуги не связанные напрямую с Интернетом); сайт-визитка - содержит самые общие данные о владельце сайта (организация или индивидуальный предприниматель). Вид деятельности, история, прайс-лист, контактные данные, реквизиты, схема проезда. Специалисты размещают своё резюме. То есть подробная визитная карточка; интернет-магазин - веб-сайт с каталогом продукции, с помощью которого клиент может заказать нужные ему товары. Промо-сайт - сайт о конкретной торговой марке или продукте, на таких сайтах размещается исчерпывающая информация о бренде, различных рекламных акциях (конкурсы, викторины, игры и т.п.); сайт-квест - интернет-ресурс, на котором организовано соревнование по разгадыванию последовательности взаимосвязанных логических загадок.
- Информационные ресурсы: тематический сайт - веб-сайт, предоставляющий исчерпывающую информацию о какой-либо теме; тематический портал - это очень большой веб-ресурс, который предоставляет исчерпывающую информацию по определённой тематике. Порталы похожи на тематические сайты, но дополнительно содержат средства взаимодействия с пользователями и позволяют пользователям общаться в рамках портала (форумы, чаты) - это среда существования пользователя.
- Веб-сервис - обычно решает конкретную пользовательскую задачу напрямую связанную с сетью Интернет:

поисковые сервисы, например, Яндекс, *Google*, почтовый сервис, веб-форумы, блоггерский сервис, фотохостинг, хранение видео, доска объявлений, каталог сайтов.

- По отношению к посетителю: вовлекающий сайт, безразличный к посетителю.

Страницы сайтов – это файлы с текстом, размеченным на языке *HTML*. Эти файлы, будучи загруженными посетителем на его компьютер, обрабатываются браузером и выводятся на его средство отображения (монитор, экран КПК, принтер или синтезатор речи). Язык *HTML* позволяет фотографировать текст, различать в нём функциональные элементы, создавать гипертекстовые ссылки (гиперссылки) и вставлять в отображаемую страницу изображения, звукозаписи и другие мультимедийные элементы. Отображение страницы можно изменить добавлением в неё таблицы стилей на языке *CSS* или сценариев на языке *JavaScript*. Страницы сайтов могут быть простым статичным набором файлов или создаваться специальной компьютерной программой на сервере - так называемым движком сайта. Движок может быть либо сделан на заказ для отдельного сайта, либо быть готовым продуктом, рассчитанным на некоторый класс сайтов. Некоторые из движков могут обеспечить владельцу сайта возможность гибкой настройки структурирования и вывода информации на веб-сайте. Такие движки называются системами управления содержанием.

Изготовление сайтов как работающих целостных информационных ресурсов есть составной процесс, вовлекающий труд различных специальностей. Этот вид деятельности называется веб-разработка. Изначально владелец будущего сайта определяет его основные цели и задачи, придумывает название, выбирает доменное имя. В большинстве случаев владелец не может самостоятельно создать сайт и поэтому он обращается к соответствующим специалистам. Это может быть как организация (веб-студия), так и частное лицо (фрилансер). В этом случае владелец будет выступать в роли заказчика, а веб-студия или частное лицо в роли исполнителя. С организациями всегда заключается договор, а с частными лицами, в основном, происходит устная договорённость, основанная на взаимном доверии. В самом договоре описываются только общие юридические моменты, оговариваются сроки, способы оплаты и т. д. Итоговый же результат (непосредственно сам сайт) в виде приложения описывается заказчиком в задании. Чтобы избежать конфликтных ситуаций и недопонимания для сложных проектов заказчик готовит специальный документ – техническое задание, в котором подробно описывает все интересующие его моменты. Когда чётко становится известно, что должно получиться на выходе, за какой срок и какими средствами, начинается непосредственно процесс создания сайта.

Веб-дизайнеры разрабатывают макеты шаблонов веб-страниц. Дизайнер определяет каким образом конечный потребитель будет получать доступ к информации и услугам сайта. То есть занимается непосредственно разработкой пользовательского веб-интерфейса. В большинстве случаев веб-страницы не обходятся без графических элементов. Их подготовкой занимаются художники и фотографы. Готовые шаблоны показываются заказчику. В этот момент страницы ещё не могут содержать конечного наполнения (это в обязанности дизайнера не входит). Чтобы макеты выглядели более наглядно в них помещается произвольное содержимое. На сленге дизайнеров такое содержимое называется рыбой. Если заказчик удовлетворён внешним видом шаблонов, то они передаются верстальщику. Вёрстка веб-страниц – специфический вид деятельности. Верстальщик получает макеты шаблонов в виде изображений (обычно в формате PSD). Его задача - сделать из них гипертекстовые веб-страницы с вставленными в них отдельно нарезанными и подготовленными для Интернета изображениями. Сложным является обеспечение совместимости с множеством браузеров - программами для просмотра веб-страниц.

Серьёзной проблемой является безопасность сайтов. Существует множество сайтов, которые являются значимыми ресурсами. На этих ресурсах могут располагаться персональные данные пользователей (например, личная переписка, адреса, телефоны) или финансовая информация (например, банковские сайты). Взлом таких ресурсов может повлечь как прямые денежные убытки, так и косвенные, связанные с распространением конфиденциальной информации или просто злоумышленник может испортить содержимое сайта. Для многих сайтов важно обеспечить некоторый уровень безопасности. Требуемый уровень безопасности во многом зависит от располагающейся на сайте информации.

Наиболее распространённые последствия атаки на сайт: несанкционированное изменение злоумышленниками или подделка сайта (дизайн и содержимое сайта может быть скопировано и у пользователя такого сайта могут украсть пароли). Наиболее популярными мотивами для взлома популярных ресурсов, таких как почтовые или социальные сети, являются: ревность, выгода: злоумышленник рассылает со взломанного аккаунта спам, воровство с целью возврата владельцу за деньги

4.2 Портал

Интернет-портал (*portal* «главный вход; ворота») – веб-сайт, предоставляющий пользователю Интернета различные интерактивные сервисы, работающие в рамках одного веб-сайта, такие как почта, поиск, погода, новости, форумы, обсуждения, голосования и т. д.

Горизонтальными принято называть порталы, охватывающие много тем, – такие, как *Yahoo* или Яндекс; типичным является возникновение портала вокруг поисковой системы. Вертикальными называются специализированные тематические порталы. Принято также подразделять порталы на интернациональные и региональные (*Yahoo* принадлежит к первому типу, а Яндекс, сконцентрированный преимущественно на Рунете, ко второму). Вдобавок порталы подразделяются на публичные и корпоративные. Публичные порталы – ориентированы на всех *Web*-пользователей. Они являются Интернет-эквивалентом публичных библиотек; каждый может войти и познакомиться со всем, что представлено на экране (*Yahoo!*, *MSN*). Корпоративный портал отличается ориентацией на специфичный тип пользователей (сотрудники, партнёры). Хотя такие порталы нередко имеют и внешний интерфейс для публичного использования, он отличается по предоставляемым возможностям от внутреннего. Существует также другая трактовка определения горизонтального и вертикального порталов. Горизонтальным называется портал, не зависящий от корпоративной информационной системы предприятия. То есть такой портал должен иметь собственную базу пользователей, авторизацию, и т. д. Вертикальным порталом называется web-сайт, интегрированный в корпоративную информационную систему (КИС) компании. Интеграция может быть осуществлена на уровне входа на портал (к примеру, может использоваться *LDAP* или *Kerberos сервер*) или на более низких уровнях, как например интеграция интернет-магазина с системой бухгалтерии компании.

Интенсивному развитию порталов способствует ряд программных продуктов, позволяющих объединить в единое пространство информацию из различных источников. Работающие таким образом программные продукты принято называть порталными решениями. Портальные решения связаны, в частности, с технологией единого входа *Single Sign On* (пользователь переходит из одного раздела портала в другой без повторной авторизации), организацией передачи данных между разными приложениями, задействованными пользователем в ходе работы на портале, и т. п. Согласно сложившимся стандартам среди таких лидеров индустрии информационных технологий, как IBM, Microsoft, Oracle, порталные решения должны, во-первых, предоставлять пользователям возможности персональной настройки внешнего вида и информационного наполнения (персонализация), а во-вторых, иметь модульную структуру, состоять из так называемых портлетов, набор которых может быть относительно легко изменён администратором портала.

Сегодня порталами часто называют себя просто большие сайты с разветвленной внутренней структурой и большим количеством ссылок. Однако если большая часть этих ссылок – внутренние, т. е. отправляющие пользователя на другую страницу этого же сайта, то называть такой сайт Интернет-порталом неправомерно.

4.3 Среда сетевого общения

4.3.1 Группа новостей

Группа новостей – сетевой форум пользователей, организованный для ведения дискуссий и обмена новостями. Чтение и отправка сообщений осуществляются программой, запускающейся на компьютере пользователя и соединяющейся с сервером новостей.

Сетевые новости *Usenet* (телеконференции) – второй по распространенности сервис Интернет.

Юзнет (*Usenet сокр. от User Network*) – компьютерная сеть, используемая для общения и публикации файлов. Usenet состоит из ньюсгрупп, в которые пользователи могут посылать сообщения. Сообщения хранятся на серверах, которые обмениваются ими друг с другом. Usenet оказал большое влияние на развитие современной Веб-культуры, дав начало таким широко известным понятиям, как ники, смайлы, подпись, модераторы, троллинг, флуд, флейм, бан и спам.

В настоящее время практически весь *Usenet*-трафик передаётся по Интернету, а формат сообщений и способ их передачи очень похож на электронную почту. Однако, если электронная почта используется для общения «один на один», то *Usenet* действует по принципу «один для всех». Сообщения, которые пользователь публикует («постит» *posts*) в Usenet, организуются в тематические категории, называемые новостными группами («*ньюзгруппами*» *newsgroups*) или конференциями, которые организуются в иерархию, подобную структуре доменных имён. Например, группы *sci.math* и *sci.physics* находятся внутри иерархии *sci* (*science* – наука). С помощью приложений для работы с Usenet можно подписаться на любые доступные конференции.

Механизм передачи каждого сообщения похож на передачу слухов: каждый узел сети, узнавший что-

то новое (т.е. получивший новое сообщение), передает новость всем знакомым узлам, т.е. всем тем узлам, с кем он обменивается новостями. Таким образом, посланное Вами сообщение распространяется, многократно дублируясь, по сети, достигая за довольно короткие сроки всех участников телеконференций *Usenet* во всем мире. При этом в обсуждении интересующей Вас темы может участвовать множество людей, независимо от того, где они находятся физически, и Вы можете найти собеседников для обсуждения самых необычных тем. Число пользователей *Usenet* весьма велико - по оценкам *UUNET technologies*, количество новых сообщений, поступающих в телеконференции ежедневно, составляет около миллиона.

Новости разделены по иерархически организованным тематическим группам, и имя каждой группы состоит из имен подуровней иерархии, разделенных точками, причем более общий уровень пишется первым. Рассмотрим, например, имя группы новостей *comp.sys.sun.admin*. Эта группа относится к иерархии верхнего уровня *comp*, предназначенной для обсуждения всего, связанного с компьютерами. В иерархии *comp* есть подуровень *sys*, предназначенный для обсуждения различных компьютерных систем. Далее, *sun* означает компьютерные системы фирмы *Sun Microsystems*, а *admin* обозначает группу, предназначенную для обсуждения вопросов администрирования таких компьютерных систем. Итак, группа *comp.sys.sun.admin* предназначена для обсуждения вопросов администрирования компьютерных систем фирмы *Sun Microsystems*. Обладая минимальными знаниями английского языка, можно по имени группы понять, что в ней обсуждается. Например, в *alt.games.vgapanets* пишут любители игры *Vga Planets*.

4.3.2 Блог

Блог (англ. *blog*, от «web log», «сетевой журнал или дневник событий») - это веб-сайт, основное содержимое которого - регулярно добавляемые записи, изображения или мультимедиа.

Для блогов характерны недлинные записи временной значимости, отсортированные в обратном хронологическом порядке (последняя запись сверху). Отличия блога от традиционного дневника обуславливаются средой: блоги обычно публичны и предполагают сторонних читателей, которые могут вступить в публичную полемику с автором (в отзывах к блог-записи или своих блогах).

Блог - это личный сайт пользователя, доступный общественному просмотру и состоящий из регулярно обновляемых записей, изображений и мультимедиа. Предполагает полемику читателя с автором.

Блоггеры - люди, ведущие блог. Совокупность всех блогов Сети принято называть блогосферой. По авторскому составу блоги могут быть личными, групповыми (корпоративными, клубными...) или общественными (открытыми). По содержанию - тематическими или общими.

Для блогов характерна возможность публикации отзывов (т. н. «комментариев», комментов) посетителями. Она делает блоги средой сетевого общения, имеющей ряд преимуществ перед электронной почтой, группами новостей, веб-форумами и чатами. Технические возможности и ограничения блогов целиком определяются общими технологиями Сети. Ведение блога предполагает наличие программного обеспечения, позволяющего обычному пользователю добавлять и изменять записи и публиковать их во Всемирной паутине. Такое программное обеспечение называется движком блога и является частным видом системы управления содержимым. Помимо основополагающей функции блога - добавления автором записей и вывода их по порядку - стандартными для блогговых движков ныне являются функции создания автоматически обрабатываемых списков обновлений RSS и Atom, форматирования текста и вставки мультимедиа в записи и, как упоминалось, функция добавления читательских отзывов.

Движок блога может быть на личном веб-пространстве автора (в этом случае он называется *stand alone блог*) или на мощностях одной из служб, предоставляющих место специально для блогов, - блог-платформ. Блоги могут быть связаны ссылками по технологии «трэбэк»; а на блог-платформах часто создаются свои внутренние механизмы, способствующие размножению связей и образованию социальных сетей среди блоггеров. Например, механизм «друзей» на популярнейшей в Рунете блог-платформе Живой журнал.

Чтение блогов и авторство - два разных по содержанию процесса. Люди, пользующиеся коммуникативными возможностями блогов вне контекста ведения собственного блога, отмечают возможности общения с людьми, с которыми они не имеют возможности общаться непосредственно, например, с друзьями, живущими в других городах. Альтернативная экономика сообщений, действующая в блогах, делает такую форму общения наиболее удобной, так как она не предполагает обязательной взаимности и других ограничений общения «один на один».

Функции блогов: коммуникативная функция - общение со знакомыми и расширение круга общения; функция самопрезентации - «Веду дневник, чтобы меня читали»; функция развлечения: блоги - неисчерпаемый источник развлекательного чтения; функция сплочения и удержания социальных связей, блоги, выполняя функции социальных сетей позволяют поддерживать прервавшиеся в реальной жизни

социальные связи и лучше узнавать своих знакомых. Благодаря особенности отложенной многопользовательской коммуникации некоторые из респондентов используют блоги с нетрадиционной целью — для организации взаимодействия рабочей группы, обсуждения рабочих вопросов и т. п., так как для многих задач подобный способ оказывается более удобным, чем электронная почта, службы мгновенных сообщений и т. п.

Как и традиционный бумажный дневник, блог, помимо новых функций, может осознаваться и как несущий функцию мемуаров, места для каких-то записей, которые могут пригодиться в будущем, способом не забыть о подробностях тех или иных событий своей жизни. Пользующиеся этой функцией респонденты полагают, что ведут дневник для себя, для того чтобы потом читать, для того чтобы записывать что-то, что не хочется забыть. И подумать об этом позже. Авторы создают нечто вроде отложенной коммуникации с самим собой. Функция саморазвития, или рефлексии связана с тем, что блог предоставляет возможность участникам создать образ иного Я, возможно, такого, к которому автор стремится. Некоторые отмечают, что публичность дневника вынуждает их продолжать его вести, а также заставляет учиться более грамотно структурировать свои мысли, что помогает им и самим лучше понять проживаемые события.

У блога есть психотерапевтической функция, которая либо предполагалась заранее, либо была осознана в процессе ведения записей - «выплеснуть эмоции», «изложить наболевшее», «для успокоения нервов, в конце концов». Данная функция традиционного дневника, ведущегося в укромной тетрадке, неоднократно упоминается различными авторами и, по всей видимости, приобрела новую форму и новые возможности, как способ пожаловаться на жизнь множеству людей сразу и получить в ответ успокоительные «поглаживания».

Корпоративный блог - блог, издаваемый организацией и используемый как для связей с общественностью, так и для внутренней организации её работы. Либо полностью подконтрольный организации, координируемый и наполняемый ею контентом, но формально с ней не связанный.

Внутренний корпоративный блог - важное средство коммуникации, особенно в крупных компаниях. Некоторые преимущества: Блог поможет улучшить взаимодействие сотрудников, предоставляет возможности для обучения. Он хорошо подходит для запуска новых проектов, для работы в неоднородных, больших коллективах. Блог помогает выявить различные взгляды на какой-либо вопрос. Открытость для публикации постов и комментариев - хорошая возможность высказаться всем членам коллектива. Путём дискуссий на заданную тему блог помогает найти компромисс при наличии разных точек зрения. Для руководителей блог - возможность наладить взаимодействие с сотрудниками. Блог - это своеобразная «история фирмы», архив идей. Чаще всего каждый сотрудник может оставить комментарий к любому посту. Круг авторов блога определяется политикой компании, часто написать пост может любой сотрудник.

4.3.3 Блогосфера

Блогосфера (*blogosphere*) - термин, построенный аналогично термину ноосфера и подобным ему, и обозначающий совокупность всех блогов как сообщество или социальную сеть.

Существующие в мире десятки миллионов блогов обычно тесно связаны между собой, блоггеры читают и комментируют друг друга, ссылаются друг на друга и таким образом создают свою субкультуру. Понятие блогосферы делает упор на одно из основных отличий блогов от обычных веб-страниц и интернет-форумов: связанные между собой блоги могут составлять динамичную всемирную информационную оболочку. Блогосфера является важной средой изучения общественного мнения и культурных мемов, она часто учитывается в академических и неакадемических работах, исследующих современные глобальные социальные тенденции.

Некоторые поисковые системы, предназначенные для поиска в блогах, используют ссылки между блогами для отслеживания взаимных связей. Используя преимущества гипертекстовых ссылок, которые играют роль меток обсуждаемых тем, эти сайты могут отследить перемещение обсуждения темы от блога к блогу. Они также помогают исследовать распространение **мемов** по блогосфере и выявить наиболее важные сайты, играющие в этом роль. В Рунете отслеживать информацию помогает сервис поиска *blog.yandex.ru*.

Мем (*meme*) - единица культурной информации, распространяемая от одного человека к другому посредством имитации, научения и др

Цели *blogger relations* - поиск и развитие отношений с авторами-блоггерами и модераторами сообществ, которых можно вовлекать в процесс развития проекта. Способы: поиск целевых групп и отдельных блоггеров; комментирование блогов; переписка с лидерами мнений; предоставление товаров на тестирование; общение на оффлайн-мероприятиях; создание базы людей с отрицательным/положительным отношением к проекту.

4.3.4 Электронная почта

Электронная почта (*email, e-mail, от англ. electronic mail*) - технология и предоставляемые ею услуги по пересылке и получению электронных сообщений (называемых «письма» или «электронные письма») по распределённой компьютерной сети. Основным отличием от прочих систем передачи сообщений является возможность отложенной доставки и развитая система взаимодействия между независимыми почтовыми серверами.

Помимо названия «электронная почта» используются и другие, являющиеся калькой и/или огрублением английского названия: имейл, мейл (транскрипция с английского) .е-мейл, емейл, емайл (различные буквенные кальки с английского) мыло



Программа, в которой пользователь формирует исходящие почтовые сообщения и просматривает входящие, является клиентом электронной почты (почтовым клиентом). *Почтовый клиент* должен быть настроен на определенный *почтовый сервер*. Иногда используют разные почтовые сервера: один для отправки исходящих сообщений (*SMTP-сервер, Simple Mail Transfer Protocol*), другой для получения входящей корреспонденции (*POP3-сервер*).

Общепринятым в мире протоколом обмена электронной почтой является *SMTP (Simple mail transfer protocol, протокол передачи почты)*. В общепринятой реализации он использует *DNS* для определения правил пересылки почты.

У каждого почтового домена может быть несколько пользователей. Почта передаётся между узлами с использованием программ пересылки почты (*Mail Transfer Agent*) (например, *Microsoft Exchange Server*). Поведение систем при связи друг с другом строго стандартизировано, для этого используется протокол *SMTP*. Взаимодействие почтовой системы и пользователей никак не регламентируется и может быть произвольным, хотя существуют как открытые, так и закрытые протоколы взаимодействия между пользователями и почтовой системой. Программа, работающая в почтовой системе и обслуживающая пользователей, называется *MDA (mail delivery agent, агент доставки почты)*. Программа, с помощью которой пользователь осуществляет доступ, называется *MUA (mail user agent)*, хотя, в случае, например, веб-интерфейса, может и отсутствовать.

Внутри заданной почтовой системы может быть множество почтовых серверов, выполняющих как пересылку почты внутри организации, так и другие, связанные с электронной почтой задачи: фильтрацию спама, проверку вложений антивирусом, обеспечение автоответа, архивация входящей/исходящей почты, обеспечение доступа пользователям различными методами (от *POP3* до *ActiveSync*). *DNS* позволяет указать в качестве принимающего сервера (*MX-запись*) любой узел Интернета, не обязательно являющийся частью доменной зоны домена получателя. Это может использоваться для пересылки почты через третьи сервера. Сторонний сервер (например, более надёжный, чем сервера пользователя) принимает почту для домена пользователя и пересылает его на почтовые сервера пользователя как только появляется возможность.

Для настройки почтового клиента на определенный почтовый сервер требуется прописать IP-адрес или доменное имя сервера в соответствующих полях свойств почтового клиента.

Почтовый сервер выполняет операции, подобные отделению обычной почтовой связи – хранит и пересылает корреспонденцию по сети следующему почтовому серверу, приближая ваше послание к адресату. Почтовый сервер адресата будет хранить письмо, пока клиент адресата не обратится за ним.

Адрес электронной почты имеет определенный формат: *имя-пользователя@[хост-компьютер.]поддомен.домен_первого_уровня*. Часть, выделенная в скобках [], является необязательной. Адрес электронной почты не может включать символы кириллицы и пробелы, а также некоторые зарезервированные символы. Примеры e-mail адреса: *Lina@mail.ktk.ru*, *In.Form@yandex.ru*, *travel_office@post.usa.com*.

Разделитель, стоящий в адресе после имени пользователя (@), который у нас принято называть «собака» правильно именуется «коммерческая эт», или просто «эт». Диктуя адрес электронной почты иностранцу, не следует использовать слово «собака»:-)

Электронное письмо состоит из следующих частей: заголовков *SMTP*-протокола, полученных сервером, самого письма, которое в свою очередь состоит из следующих частей, разделённых пустой строкой: заголовков письма, тела письма (текст письма кодируется по стандарту *MIME* и не может быть прочитан человеком без использования декодера или почтового клиента).

Имя пользователя выбирается пользователем самостоятельно, к его выбору нужно подходить осознанно. Дело в том, что, общаясь в сети, не только посредством электронной почты, но и на различных форумах, в чатах, в *ICQ*, вам потребуется имя. Из-за запрета кириллических символов, это не может быть ваше *offline* (внесетевое, паспортное) имя. Приходится выбирать для себя псевдоним, записываемый символами латиницы, так называемый *nickname*, или просто *nick*. С этим псевдонимом вас и будут ассоциировать ваши корреспонденты, поэтому *nick* должен вам нравиться и нести некоторую смысловую нагрузку.

Почтовая система позволяет организовать сложные системы, основанные на пересылке почты от одного ко многим абонентам, это: почтовые рассылки - письмо от одного адреса с одинаковым содержанием, рассылаемое подписчикам рассылки; группы переписки - специализированный тип почтовой рассылки, в которой письмо на адрес группы рассылается всем участникам группы. Является аналогом новостных конференций, эхоконференций. Для управления почтовыми рассылками используются менеджеры почтовых рассылок. Помимо ведения списка адресов и выполнения отсылки заданного сообщения они обеспечивают фильтрацию писем, возможности премодерации писем перед помещением в рассылку, ведение архивов, управление подпиской/отпиской, рассылку дайджестов (краткого содержания) вместо всего объема рассылки.

4.3.5 Форум

Веб-форум - класс веб-приложений для организации общения посетителей веб-сайта. Термин соответствует смыслу исходного понятия «форум». Форум предлагает набор разделов для обсуждения. Работа форума заключается в создании пользователями тем в разделах и последующим обсуждением внутри этих тем. Отдельно взятая тема, по сути, представляет собой тематическую гостевую книгу.

Распространённое деление веб-форума: Разделы→темы→сообщения. Обычно сообщения несут информацию «автор-тема-содержание-дата/время». Сообщение и все ответы на него образует ветку (тему, тред, трэд (*thread*), топик, топ (*topic*)). Отклонение от начальной темы обсуждения часто запрещено правилами поведения форума. За соблюдением правил следят модераторы и администраторы - участники, наделённые возможностью редактировать, перемещать и удалять чужие сообщения в определённом разделе или теме, а также контролировать к ним доступ отдельных участников. На форумах может применяться чрезвычайно гибкое разграничение доступа к сообщениям. Так, на одних форумах чтение и создание новых сообщений доступны любым случайным посетителям, на других необходима предварительная регистрация - те и другие форумы называют открытыми. Применяется и смешанный вариант - когда отдельные темы могут быть доступны на запись всем посетителям, а другие - только зарегистрированным участникам. Кроме открытых, существуют закрытые форумы, доступ к которым определяется персонально для каждого участника администраторами форума. На практике также нередко встречается вариант, когда некоторые разделы форума общедоступны, а остальная часть доступна только узкому кругу участников. При регистрации участники форума могут создавать профили - страницы со сведениями о данном участнике. В своём профиле участник форума может сообщить информацию о себе, настроить свой аватар или автоматически добавляемую к его сообщениям подпись - в зависимости от предпочтений. Подпись может быть статичным текстом либо содержать графические картинки, в том числе т. н. юзбары. Большинство форумов имеет систему личных сообщений, позволяющую зарегистрированным пользователям общаться индивидуально, аналогично электронной почте. Многие форумы при создании новой темы имеют возможность присоединения к ней голосований или опросов. При этом другие участники форума могут проголосовать или ответить на заданный в заголовке темы вопрос, не создавая нового сообщения в теме форума.

Каждый конкретный форум имеет свою тематику - достаточно широкую, чтобы в её пределах можно было вести многоплановое обсуждение. Часто также несколько форумов сводят воедино в одном месте, которое также называют форумом (в широком смысле). По методу формирования набора тем форумы бывают с динамическим списком тем и с постоянным списком тем. В форумах с динамическим списком тем простые участники могут создавать новую тему в рамках тематики форума. Обычно форум имеет возможность поиска по своей базе сообщений.

Форум отличается от чата разделением обсуждаемых тем и возможностью общения не в реальном времени. Это располагает к более серьёзным разговорам, поскольку предоставляет отвечающим больше времени на обдумывание ответа. Форумы часто используются для разного рода консультаций, в работе служб технической поддержки. В настоящее время веб-форумы почти полностью вытеснили новостные группы на базе *NNTP* и являются одним из наиболее популярных способов обсуждения вопросов во Всемирной паутине. На данный момент форумы сосуществуют наравне с блогами. Эти две формы общения в Интернете практически не уступают друг другу по популярности.

Движок форума - конкретное веб-приложение, реализующее перечисленные выше признаки. Самые популярные движки среди крупнейших форумов в Сети (более 500 тысяч сообщений):

	Программное обеспечение форума	Число инсталляций	Доля
1	vBulletin (vBulletin)	1347	60,3 %
2	Invision Power Board	281	12,6 %
3	phpBB	247	11,1 %
4	Simple Machines Forum (SMF)	44	2,0 %

4.3.6 Чат

Чат (*chat* - разговор) - средство общения пользователей по сети в режиме реального времени, а также программное обеспечение, позволяющее организовывать такое общение.

Существует несколько разновидностей программной реализации чатов: *HTTP*- или веб-чаты. Такой чат выглядит как обычная веб-страница, где можно прочесть последние несколько десятков фраз, написанных участниками чата и модераторами. Страница чата автоматически обновляется с заданной периодичностью. Также есть чаты, изготовленные с помощью технологии (Adobe) Flash. Они отличаются тем, что страница с чатом не обновляется, а между клиентом и сервером открывается сокет, что позволяет моментально отправить или получить сообщение, естественно, при этом расходуется намного меньше трафика.

По применению чаты делятся на: *all2all* групповая коммуникация (например, IRC, Jabber, Yahoo! Chat, AVACS Live Chat); *b2b* персональные коммуникации (например, ICQ, Jabber, Skype, Yahoo! Messenger, AOL Instant Messenger, Hamachi) - личное общение; *b2b* деловые - работа в группах; *b2c* потребительские - поддержка клиентов компании на корпоративном сайте.

4.3.7 Имиджборд

Имиджборд (*imageboard* - «доска с картинками») - разновидность сетевого форума, отличающаяся большими возможностями по прикреплению к сообщениям картинок. Как правило, имиджборды построены по одинаковой схеме и состоят из нескольких тематических разделов (или досок), в которых содержатся треды, состоящие из постов от разных пользователей. Пользователи имиджборд, как правило, избавлены от необходимости регистрироваться и поэтому анонимны.

Тред (*thread* - «нить»). Название «тред» пошло из американского *usenet*, где впервые была применена организация постов таким способом. Тред - метафорическое обозначение ветви дискуссии. На русскоязычных форумах вместо слова «тред» чаще всего используется слово «тема», хотя оно и не совсем адекватно отражает суть этого понятия.

Пост (*to post* - *отсылать, отправлять [сообщение]*) - единичное сообщение, запись на сайте. В зависимости от механизма работы сайта пост может иметь или не иметь различные атрибуты, например, тему сообщения, прикреплённые файлы или опрос-голосование. На интернет-форумах и имиджбордах посты объединяются в треды. Первый пост в тред называется опом (или сабжем) и представляет из себя начало темы для обсуждения, предлагаемое остальным участникам форума. Отступление от этой темы называется оффтопом и, в зависимости от правил форума, может караться модераторами.

Со словом **пост** связано несколько производных терминов:

Постить - заниматься *постингом*, или написанием постов.

Постер - человек, написавший пост.

Модератор (*moderator* - умеряю, сдерживаю) - человек, имеющий более широкие права по сравнению с обыкновенными пользователями на общественных сетевых ресурсах (чатах, форумах, эхоконференциях), в частности хотя бы одно из прав:

- право стирать чужие сообщения;
- право редактировать чужие сообщения;
- удалять страницы пользователей;
- смотреть их переписку и пароли (используется крайне редко);

Термин «модератор» отражает права, но не поведение лица, наделённого этими правами. Модератор отвечает за соблюдение пользователями установленных норм поведения.

4.4 Хостинг

Хостинг (*hosting*) - услуга по предоставлению дискового пространства для физического размещения информации на сервере, постоянно находящемся в сети Интернет. Сервер может принадлежать либо компании-поставщику услуги, либо клиенту.

Под понятием услуги хостинга подразумевают услугу размещения файлов сайта на сервере, на котором запущено ПО, необходимое для обработки запросов к этим файлам (веб-сервер). В услугу хостинга входит предоставление места для почтовой корреспонденции, баз данных, *DNS*, файлового хранилища и т. п., а также поддержка функционирования соответствующих сервисов. Хостинг баз данных, размещение файлов, хостинг электронной почты, услуги *DNS* могут предоставляться отдельно как самостоятельная услуга либо входить в понятие услуги.

Одним из важных критериев выбора хостинга является используемая операционная система, поскольку от этого зависит программное обеспечение, которое будет поддерживать функциональность тех или иных сервисов. Важным аспектом описания хостинга является наличие тех или иных служб и возможностей: поддержка CGI/Perl, PHP, Python, ASP, Ruby, поддержка .htaccess (для Apache), поддержка баз данных. А также установленные модули для каждой из возможностей. Хостинг как услугу сравнивают и описывают по количественным ограничениям: размер дискового пространства, количество месячного трафика, количество сайтов, которые можно разместить в рамках одной учетной записи, количество пользователей и т.п. и по качественным ограничениям: свободные ресурсы оперативной памяти, которые влияют на быстродействие сервера, пропускная способность каналов, которая влияет на загрузку информации.

По условиям предоставления хостинг часто разделяется на платный и бесплатный. Обычно компания, предоставляющая бесплатный хостинг, зарабатывает путем показа рекламы на страницах, размещенных на нем. Бесплатный хостинг медленнее платного, предоставляет только базовые услуги и иногда ненадежен. Частные лица для своих домашних страничек на начальном этапе их развития используют бесплатный хостинг. Также можно разделить услуги хостинга по типу предоставляемого ресурса: виртуальный - предоставляется место на диске для размещения веб-сайтов, среда исполнения веб-сервисов единая для многих пользователей, ресурсы распределены между всеми пользователями на одном сервере; виртуальный выделенный сервер - предоставляется место на диске, часть общей памяти, процессорное время сервера; выделенный сервер - предоставляется сервер целиком; колокация - предоставление места в датацентре провайдера для оборудования клиента и подключение его к Интернету.

Компьютерные коммуникации

Возможности Интернет

Интернет - международная компьютерная сеть, сеть сетей, система объединенных компьютерных сетей.

Off-line - режим с разделением времени или отсроченной связи.

Услуги сети Интернет
в режиме: **off-line**

- 1) Электронная почта - система обмена письмами по сети
- 2) Телеконференции - коллективный обмен информацией по определенной тематике между пользователями сети.
Модератор - один или несколько человек, руководящие конференцией

Примеры адресов конференций:
glasnet.news.eng
relcom.comp.os.windows



On-line - режим реального времени или непосредственной связи.

Услуги сети Интернет
в режиме: **on-line**

- 1) Работа на удаленном компьютере (чаще всего это базы данных) и обмен с ним файлами (для этого существуют специальные файловые серверы)
- 2) Поиск информации с помощью поисковых систем
- 3) Всемирная паутина (WWW), которую образуют компьютеры-серверы Интернета
- 4) Интерактивное общение (чат)

Интернет - глобальная сеть, работающая по единым правилам и связывающая миллионы компьютеров и тысячи компьютерных сетей во всем мире. Всемирная Паутина постоянно расширяется, и число пользователей непрерывно растёт. Техническая база Интернет позволяет без какой-либо перегрузки или переполнения наращивать её практически до бесконечности. Современный Интернет является универсальной глобальной информационной средой, причём он – не просто источник информации, а среда для контактов между людьми.

Поиск информации в Интернет - искусство, о котором невозможно рассказать полностью.

Данную лекцию мы начнём с анализа аппаратного и компьютерного обеспечения Интернета, затем коротко остановимся на основных информационных ресурсах сети Интернет и общих методах поиска в ней требуемой информации. Поиск научно-технической информации в Интернете мы рассмотрим в следующей лекции.

1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРНЕТА

1.1 Аппаратные средства

1.1.1 Сервер

Сервер (англ. *server*, обслуживающий):

Сервер (сеть) - логический или физический узел сети, обслуживающий запросы к одному адресу и/или доменному имени (смежным доменным именам), состоящий из одного или системы аппаратных серверов, на котором выполняются один или система серверных программ

Сервер (программное обеспечение) - программное обеспечение принимающее запросы от клиентов (в архитектуре клиент-сервер)

Сервер (аппаратное обеспечение) - компьютер (или специальное компьютерное оборудование) выделенный и/или специализированный для выполнения определенных сервисных функций

Серверное приложение (сервер) запускается на компьютере, так же называемом «сервер».

5.1.2 Почтовый сервер

Почтовый сервер, сервер электронной почты, мейл-сервер - в системе пересылки электронной почты. Так называют агент пересылки сообщений (*mail transfer agent, MTA*). Это компьютерная программа, которая передаёт сообщения от одного компьютера к другому. Почтовый сервер работает «за кулисами», а пользователи имеют дело с другой программой – клиентом электронной почты (*mail user agent, MUA*).

В распространённой конфигурации агентом пользователя является *Outlook Express*. Когда пользователь набрал сообщение и посылает его получателю, почтовый клиент взаимодействует с почтовым сервером, используя протокол *SMTP*. Почтовый сервер отправителя взаимодействует с почтовым сервером получателя. На почтовом сервере получателя сообщение попадает в почтовый ящик, откуда при помощи агента доставки сообщений (*mail delivery agent, MDA*) доставляется клиенту получателя. Часто последние два агента совмещены в одной программе, хотя есть специализированные *MDA*, которые занимаются фильтрацией спама. Для финальной доставки полученных сообщений используется не *SMTP*, а другой протокол - часто *POP3* или *IMAP* - который также поддерживается большинством почтовых серверов.

5.1.3 Wi Fi

Wi-Fi (*Wireless Fidelity* - «беспроводная точность») - стандарт на оборудование *Wireless LAN*.

Разработан консорциумом *Wi-Fi Alliance* на базе стандартов *IEEE 802.11*, «*Wi-Fi*» - торговая марка «*Wi-Fi Alliance*».

Установка *Wireless LAN* рекомендовалась там, где развёртывание кабельной системы было невозможно или экономически нецелесообразно. Сейчас во многих организациях используется *Wi-Fi*, так как при определенных условиях скорость работы сети уже превышает 100 Мбит/сек. Пользователи могут перемещаться между точками доступа по территории покрытия сети *Wi-Fi*. При этом, при смене точек доступа происходит кратковременный разрыв связи, за исключением использования оборудования *Cisco*. Мобильные устройства (КПК, смартфоны и ноутбуки), оснащённые клиентскими *Wi-Fi* приёмо-передающими устройствами, могут подключаться к локальной сети и получать доступ в Интернет.

Обычно схема *Wi-Fi* сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка, когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (*SSID*) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0.1 Мбит/с каждые 100 мс. Так что 0.1 Мбит/с - наименьшая скорость передачи данных для *Wi-Fi*. Зная *SSID* сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с

идентичными *SSID*, приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала. Стандарт *Wi-Fi* даёт клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения.

Wi-Fi позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, может уменьшить стоимость развёртывания и расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями. В отличие от сотовых телефонов, *Wi-Fi* оборудование может работать в разных странах по всему миру, но имеет ограниченный радиус действия. Типичный домашний *Wi-Fi* маршрутизатор имеет радиус действия 45 м в помещении и 90 м снаружи. Микроволновка или зеркало, расположенные между устройствами *Wi-Fi*, ослабляют уровень сигнала. Расстояние зависит также от частоты.

1.2 Программное обеспечение

Программное обеспечение - наряду с аппаратными средствами, важнейшая составляющая информационных технологий, включающая компьютерные программы и данные, предназначенные для решения определённого круга задач и хранящиеся на машинных носителях. Программное обеспечение представляет собой либо данные для использования в других программах, либо алгоритм, реализованный в виде последовательности инструкций для процессора.

Сетевые приложения реализуются по технологии *клиент-сервер*. Это означает, что программное обеспечение делится на две части: клиентскую, устанавливаемую на компьютере пользователя, и серверную – устанавливаемую на компьютере-сервере.

Клиентское программное обеспечение предназначено для формирования запросов пользователя к серверной части и для отображения пользователю получаемых от сервера ответов. Клиентская часть обеспечивает удобство пользовательского интерфейса. Основную же нагрузку несет серверная часть, которая обычно обслуживает запросы множества клиентов. Программы, реализующие различные службы в Интернет, относятся к серверам. Программы, с помощью которых пользователь получает доступ к этим службам, относятся к категории клиентов.

Компьютерные коммуникации

HTML - язык разметки гипертекста

Тег - инструкция браузеру, указывающая способ отображения текста и графики.

Структурные теги	Теги оформления списков данных
<HTML> </HTML> - тег, открывающий и закрывающий HTML-документ	 - представление списка - индекса
<HEAD> </HEAD> - тег, внутри которого находится заголовок документа	 - представление пронумерованного списка
<TITLE> </TITLE> - тег заголовка окна, пишется внутри тега HEAD	 - представление маркированного списка
<BODY> </BODY> - внутри этого тега пишется то, что будет доступно в области просмотра браузера	

Теги форматирования символов	Теги определения гиперссылок
 - жирный шрифт	
<I> </I> - курсив	
<U> </U> - подчеркнутый шрифт	

Тег включения графики	Теги форматирования абзацев
	<P> - тег "параграф", отделяет абзацы друг от друга
	
 - переход на новую строку
	<HR> - проведение горизонтальной линии
	<PRE> </PRE> - вставка предварительно отформатированного текста
	<H1> </H1> - тег, определяющий заголовок документа (после H ставится размер заголовка от 1 до 5)

Пример HTML-файла

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE>Основы языка HTML</TITLE>
</HEAD>
<BODY>
<H3>Язык HTML - язык разметки гипертекста</H3>
<b></b>Язык HTML<b></b> состоит из специальных
разметочных указателей, называемых <i>тегами</i><b></b>
Теги делятся на следующие категории:
<i>
<ul>
<li>структурные
<li>теги форматирования абзацев
<li>теги определения гиперссылок и т.д.
</ul>
</i>
</BODY>
</HTML>
```

1.2.1 Браузер

Веб-обозреватель, или браузер – программное обеспечение для поиска, просмотра веб-сайтов, то есть для запроса веб-страниц (преимущественно из Сети), для их обработки, вывода и перехода от одной страницы к другой.

Большинство браузеров наделены способностями к просмотру оглавления *FTP*-серверов. Браузер - комплексное приложение для обработки и вывода разных составляющих веб-страницы, и для предоставления интерфейса между веб-сайтом и его посетителем. Практически все популярные браузеры распространяются бесплатно: *Internet Explorer* (как неотъемлемая часть *Microsoft Windows*), *Mozilla Firefox* и др.

Windows Internet Explorer (ранее - *Microsoft Internet Explorer* или просто *Internet Explorer*, сокращённо *MSIE* или *IE*) - серия браузеров, занимающая первое место по числу пользователей.

Internet Explorer разработан корпорацией *Microsoft* и входит в состав линейки операционных систем *Microsoft Windows*. Является наиболее широко используемым *web*-браузером начиная с 1999 в последнее время его доля стремительно снижается, уступая место таким браузерам, как *Mozilla Firefox*, *Safari* и др.

Internet Explorer 7 имеет кладки, блокировщик всплывающих окон, фишинг-фильтр, поддержку интернациональных доменных имён, средств групповой политики и возможность автообновления через *Windows Update*. *Windows*-версия браузера основана на движке *Trident*, который поддерживает стандарты *HTML 4.01*, *CSS Level 1*, *XML 1.0* и *DOM Level 1*, также имеет возможность подключения расширений, что реализуется через объектную модель компонентов (*COM*). *Internet Explorer 8.0*, выпущенный 19.03.2009, доступен на операционных системах семейства *Windows: XP, Vista, Server 2003* и *Server 2008*.

1.2.2 Домен

Домен - область (ветвь) иерархического пространства доменных имён сети Интернет, которая обозначается уникальным доменным именем.

Доменное имя - символьное имя домена. Должно быть уникальным в рамках одного домена. Полное имя домена состоит из имён всех доменов, в которые он входит, разделённых точками. Например, полное имя *ru.wikipedia.org*. (с точкой в конце) обозначает домен третьего уровня *ru*, который входит в домен второго уровня *wikipedia*, который входит в домен *org*, который входит в корневой домен. Доменное имя служит для адресации узлов сети Интернет и расположенных на них сетевых ресурсов (веб-сайтов, серверов, электронной почты, других служб) в удобной для человека форме.

Доменная зона - совокупность доменных имён определённого уровня, входящих в конкретный домен. Например, зона *wikipedia.org* включает все доменные имена третьего уровня в этом домене. Термин «доменная зона» в основном применяется в технической сфере, при настройке DNS-серверов (поддержание зоны, делегирование зоны, трансфер зоны).

Табл. 1. Тематические домены 1-ого уровня

<i>COM</i>	<i>Commercial</i> (для коммерческих организаций)
<i>NET</i>	<i>Networks</i> (Интернет, телекоммуникационные сети)
<i>ORG</i>	<i>Organizations</i> (некоммерческие организации)
<i>INFO</i>	<i>Information</i> (открытый для всех домен)
<i>BIZ</i>	<i>Business Organizations</i> (аналог <i>com</i>)
<i>NAME</i>	<i>Personal</i> (для частных лиц)
<i>INT</i>	<i>International Organizations</i> (международные организации)
<i>EDU</i>	<i>Educational</i> (образовательные проекты США)
<i>MIL</i>	<i>US Dept of Defense</i> (департамент безопасности США)
<i>GOV</i>	<i>US Government</i> (правительство США)
<i>MUSEUM</i>	<i>Museums</i> (музеи)
<i>AERO</i>	<i>Air-transport industry</i> (воздушно-транспортная индустрия)
<i>COOP</i>	<i>Cooperatives</i> (кооперативы)

На январь 2007 года в мире насчитывалось 243 территориальных (национальных) доменных зоны. Территориальные домены первого уровня, в отличие от тематических, всегда двухбуквенные. Россия владеет двумя национальными доменами: *.RU* и *.SU*. Последний остался за РФ после развала СССР. В настоящий момент ведётся пересмотр территориальных доменов, и в ближайшем будущем Россия может лишиться зоны *.SU*.

Для разрешения доменного имени в *IP*-адрес служит система *DNS*. Эта система состоит из иерархической структуры *DNS*-серверов, каждый из которых является держателем одной или нескольких доменных зон и отвечает на запросы, касающиеся этой зоны, а также *DNS*-резолверов, которые отвечают на запросы, касающиеся любых зон. Функции держателя зоны и резолвера часто совмещаются в одной программе; таковой является популярный *DNS*-сервер *BIND* (*Berkeley Internet Name Domain*). Для обеспечения уникальности и защиты прав владельцев доменные имена 1-го и 2-го (в отдельных случаях и 3-го) уровней можно использовать только после их регистрации, которая производится уполномоченными на то регистраторами. Сведения о владельце (администраторе) того или иного регистрируемого домена доступны по службе *whois*.

Общие или международные домены верхнего уровня управляются организацией *ICANN*. Национальные домены верхнего уровня делегированы соответствующим национальным регистраторам, которые устанавливают правила регистрации в них либо сами, либо согласно указаниям правительства. Управляющей организацией является *IANA*. Зарезервированные имена доменов верхнего уровня определяет названия доменов, которые следует использовать в качестве примеров (например, в документации), а также

для тестирования. Кроме *example.com*, *example.org* и *example.net*, в эту группу также входят *test.invalid* и др.

1.2.3 HTML

HTML (*HyperText Markup Language* - «язык разметки гипертекста») – стандартный язык разметки документов во Всемирной паутине. Большинство веб-страниц создаются при помощи языка **HTML** (или **XHTML**). Язык **HTML** интерпретируется браузером и отображается в виде документа, в удобной для человека форме.

HTML является приложением **SGML** (стандартного обобщённого языка разметки) и соответствует международному стандарту **ISO 8879**. Язык **HTML** разработан Тимом Бернерсом-Ли в 1992. **HTML** создавался как язык для обмена научной и технической документацией, пригодный для использования людьми, не являющимися специалистами в области вёрстки. **HTML** успешно справлялся с проблемой сложности **SGML** путём определения небольшого набора структурных и семантических элементов (размечаемых «тегами»), служащих для создания относительно простых, но красиво оформленных документов. Помимо упрощения структуры документа, в **HTML** внесена поддержка гипертекста. Мультидийные возможности добавлены позже. Изначально язык **HTML** был задуман как средство структурирования и форматирования документов без их привязки к средствам воспроизведения. В идеале, текст с разметкой **HTML** должен был без стилистических и структурных искажений воспроизводиться на оборудовании с различной технической оснащённостью. Однако современное применение **HTML** далеко от его изначальной задачи. Например, тег `<TABLE>`, несколько раз использованный для форматирования страницы, которую вы сейчас читаете, предназначен для создания в документах самых обычных таблиц, но здесь нет ни одной таблицы.

Текстовые документы, содержащие код на языке **HTML** (такие документы имеют расширение «*html*» или «*htm*»), обрабатываются специальными приложениями, которые отображают документ в его форматированном виде. Такие приложения, называемые браузерами или интернет-обозревателями, обычно предоставляют пользователю удобный интерфейс для запроса веб-страниц, их просмотра (и вывода на иные внешние устройства) и, при необходимости, отправки введённых пользователем данных на сервер. Наиболее популярными на сегодняшний день браузерами являются *Internet Explorer*, *Firefox*, *Safari*, *Google Chrome* и *Opera*.

Документ на языке **HTML** представляет собой набор элементов, причём начало и конец каждого элемента обозначается специальными пометками - тегами. Элементы могут быть пустыми, то есть не содержащими никакого текста и других данных (например, тег перевода строки `
`). В этом случае обычно не указывается закрывающий тег. Кроме того, элементы могут иметь *атрибуты*, определяющие какие-либо их свойства (например, размер шрифта для элемента *font*). Атрибуты указываются в открывающем теге.

1.2.4 Гипертекст

Термин гипертекст был введён Тедом Нельсоном в 1965 для обозначения «текста ветвящегося или выполняющего действия по запросу». Гипертекст - набор текстов, содержащих узлы перехода от одного текста к какому-либо другому, позволяющие избирать читаемые сведения или последовательность чтения. Общеизвестным и при том ярко выраженным примером гипертекста служат веб-страницы - документы **HTML** (язык разметки гипертекста), размещённые в Сети. В более широком понимании термина, гипертекстом является любая повесть, словарь или энциклопедия, где встречаются отсылки к другим частям данного текста.

В компьютерной терминологии, **гипертекст** - текст, сформированный с помощью языка разметки, потенциально содержащий в себе ссылки.

В литературоведении гипертекст - форма организации текстового материала, при которой его единицы представлены не в линейной последовательности, а как система явно указанных возможных переходов, связей между ними. Следуя этим связям, можно читать материал в любом порядке, образуя разные линейные тексты.

Гипертекстовость (гиперлитература) - свойство литературного прозаического произведения, для которого характерны черты гипертекста (внутренние корреляционные ссылки, отсутствие линейного повествования). Используется для создания эффекта игры, свойственного постмодернистской литературе: количество значений изначального текста расширяется, благодаря читательскому формированию сюжетной линии.

Из заметных литературных произведений, характеризующихся гипертекстовостью - роман-лексикон «Хазарский словарь» Милорада Павича и философская повесть «Бесконечный тупик» Дмитрия Галковского. **Гиперссылка** - фрагмент **HTML**-документа: указывающий на другой файл, который может быть расположен в Интернет; и содержащая полный путь (*URL*) к этому файлу. Гиперссылка - для пользователя - графическое изображение или текст на сайте или в письме электронной почты, устанавливающие связь и позволяющие переходить к другим объектам Интернет.

Гиперссылка - связь между веб-страницами или файлами. При щелчке гиперссылки указанный в ней объект отображается в веб-обозревателе, открывается или запускается в зависимости от типа этого объекта. Часто гиперссылка указывает на другую веб-страницу, но может также указывать на рисунок, мультимедийный файл, адрес электронной почты или программу.

1.2.5 Вирус

Компьютерный вирус - разновидность компьютерных программ, отличительной особенностью которой является способность к размножению. Вирусы могут повредить или полностью уничтожить все файлы и данные, подконтрольные пользователю, от имени которого была запущена заражённая программа, а также повредить или даже уничтожить операционную систему со всеми файлами в целом.

Неспециалисты к компьютерным вирусам иногда причисляют и другие виды вредоносных программ, такие как трояны, программы-шпионы и даже спам. Известны десятки тысяч компьютерных вирусов, которые распространяются через Интернет по всему миру, организуя вирусные эпидемии. Вирусы распространяются, внедряя себя в исполняемый код других программ или же заменяя собой другие программы. Какое-то время даже считалось, что, являясь программой, вирус может заразить только программу - какое угодно изменение не-программы является не заражением, а просто повреждением данных. Подразумевалось, что такие копии вируса не получают управления, будучи информацией, не используемой процессом в качестве инструкций. Так, например неформатированный текст не мог бы быть переносчиком вируса. Однако, позднее хакеры добились, что вирусным поведением может обладать не только исполняемый код, содержащий машинный код процессора. Были написаны вирусы на языке пакетных файлов. Потом появились макровирусы, внедряющиеся через макросы в документы таких программ, как *Microsoft Word* и *Excel*. Вирусы стали распространяться посредством внедрения в последовательности данных (например, картинки, тексты, и т. д.) специального кода, использующего уязвимости программного обеспечения.

Компьютерный вирус был назван по аналогии с вирусами биологическими. Впервые слово вирус по отношению к программе было употреблено Грегори Бенфордом в фантастическом рассказе «Человек в шрамах» (*The Scarred Man*), опубликованном в 1970.

Принято разделять вирусы по поражаемым объектам (файловые вирусы, загрузочные вирусы, скриптовые вирусы, макро-вирусы, сетевые черви), по поражаемым операционным системам и платформам (*DOS*, *Microsoft Windows*, *Unix*, *Linux*), по технологиям, используемым вирусом (полиморфные вирусы, стелс-вирусы), по языку, на котором написан вирус (ассемблер, высокоуровневый язык, скриптовый язык и др.).

Макро-вирусы являются программами на языках, встроенных во многие системы обработки данных (текстовые редакторы, электронные таблицы и т. д.). Для своего размножения такие вирусы используют возможности макро-языков и при их помощи переносят себя из одного зараженного файла (документа или таблицы) в другие. Наибольшее распространение получили макро-вирусы для *Microsoft Word*, *Excel* и *Office97*. Существуют также макро-вирусы, заражающие документы *Ami Pro* и базы данных *Microsoft Access*.

По способу заражения файловые вирусы (вирусы, внедряющие свой код в исполняемые файлы: командные файлы, программы, драйверы, исходный код программ и др.) разделяют на перезаписывающие, паразитические, вирусы-звенья, вирусы-черви, компаньон-вирусы, а так же вирусы, поражающие исходные тексты программ и компоненты программного обеспечения (*VCL*, *LIB* и др.). Перезаписывающие вирусы записывают своё тело вместо кода программы, не изменяя названия исполняемого файла, вследствие чего исходная программа перестаёт запускаться. При запуске программы выполняется код вируса, а не сама программа. Компаньон-вирусы создают свою копию на месте заражаемой программы, но в отличие от перезаписываемых не уничтожают оригинальный файл, а переименовывают или перемещают его. При запуске программы вначале выполняется код вируса, а затем управление передаётся оригинальной программе.

Файловые черви создают собственные копии с привлекательными для пользователя названиями (например, *Game.exe*, *install.exe* и др.) в надежде на то, что пользователь их запустит. Вирусы-звенья не изменяют код программы, а заставляют операционную систему выполнить собственный код, изменяя адрес местоположения на диске заражённой программы на собственный адрес. После выполнения кода вируса управление передаётся вызываемой пользователем программе. Паразитические вирусы - файловые вирусы, изменяющие содержимое файла, добавляя в него свой код. При этом заражённая программа сохраняет полную или частичную работоспособность. Код может внедряться в начало, середину или конец программы.

Существуют вирусы, поражающие исходный код программы или её компоненты (*.OBJ*, *.LIB*, *.DCU*), а также *VCL* и *ActiveX*-компоненты. После компиляции программы оказываются встроенными в неё. В

настоящее время широкого распространения не получили.

Черви - вид вирусов, которые проникают на компьютер-жертву без участия пользователя. Черви используют так называемые «дыры» (уязвимости) в программном обеспечении операционных систем, чтобы проникнуть на компьютер. Уязвимости - ошибки и недоработки в программном обеспечении, которые позволяют удаленно загрузить и выполнить машинный код, в результате чего вирус-червь попадает в операционную систему и начинает действия по заражению других компьютеров через локальную сеть или Интернет. Хакеры и спамеры используют зараженные компьютеры пользователей для рассылки спама или для DDoS-атак.

2. ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ИНТЕРНЕТ

2.1 Поисковая система

Поисковая система – веб-сайт, предоставляющий возможность поиска информации в Интернете. Большинство поисковых систем ищут информацию на сайтах Всемирной паутины, но существуют также системы, способные искать файлы на ftp-серверах, товары в Интернет-магазины, а также информацию в группах новостей Usenet.

Основной частью поисковой системы является поисковая машина (поисковый движок) – комплекс программ, обеспечивающий функциональность поисковой системы. Критериями качества работы поисковой машины являются релевантность (степень соответствия запроса и найденного, т.е. уместность результата), полнота базы, учёт морфологии языка. Индексация информации осуществляется специальными поисковыми роботами. Есть поисковые движки, основанные на технологии RSS, а также среди XML-данных разного типа.

Улучшение работы поисковых систем - приоритетная задача Интернета. В 2007 рыночная доля Google в мире составляла 77.04%, Yahoo - 12.46 %, MSN - 3.33%, Microsoft Live Search - 2.57%, AOL - 2.12%, Ask - 1.38%, Alta Vista - 0.13%, Excite - 0.07%, Lycos - 0.02%, All the Web - 0.02%, а все поисковые сайты обработали 66 млрд 221 млн поисковых запросов. Яндекс попал в статистику и находится на 9-ом месте.

Первой поисковой системой для Всемирной паутины был «Wandex», который создавал «World Wide Web Wanderer» - бот, разработанный Мэтью Грэм из Массачусетского технологического института в 1993. Также в 1993 появилась поисковая система «Aliweb», работающая до сих пор. Первой полнотекстовой (т. е. индексирующей ресурсы при помощи робота) поисковой системой стала «WebCrawler», запущенная в 1994. В отличие от своих предшественников, она позволяла пользователям искать по любым ключевым словам на любой веб-странице - с тех пор это стало стандартом во всех основных поисковых системах. Кроме того, это был первый поисковик, о котором было известно в широких кругах. В 1994 был запущен «Lycos», разработанный в университете Карнеги Мелона. Вскоре появилось множество других конкурирующих поисковых машин, таких как «Excite», «Infoseek», «Inktomi», «Northern Light» и «Alta Vista». В некотором смысле они конкурировали с популярными Интернет-каталогами, такими, как «Yahoo!». Позже каталоги соединились или добавили к себе поисковые машины, чтобы увеличить функциональность. В 1996 русскоязычным пользователям интернета стало доступно морфологическое расширение к поисковой машине Altavista и оригинальные российские поисковые машины Rambler и Aport. 23/09/1997 была открыта поисковая машина Яндекс. В последнее время завоевывает всё большую популярность практика применения методов кластерного анализа и метапоиска. Из международных машин такого плана наибольшую известность получила «Clusty» компании Vivisimo. В 2005 на российских просторах при поддержке МГУ запущен поисковик Nigma, поддерживающий автоматическую кластеризацию. В 2006 открылась российская метамашин Quintura, предлагающая визуальную кластеризацию в виде облака ключевых слов.

Кластеризация документов - одна из задач информационного поиска. Целью кластеризации документов является автоматическое выявление групп семантически похожих документов среди заданного фиксированного множества документов. Следует отметить, что группы формируются только на основе попарной схожести описаний документов, и никакие характеристики этих групп не задаются заранее, в отличие от классификации документов, где категории задаются заранее.

Табл. 1. Основные поисковые системы российского Интернета.

Самая популярная (2006) поисковая система, которую используют 45% аудитории Российского Интернета. Поисковая система («Yandex-Web») начала работу в 1997 и учитывала морфологию русского языка. Созданы две информационно-поисковые системы - Международная Классификация Изобретений, 4 и 5 редакция, а также Классификатор Товаров и Услуг.

Яндекс



Поисковая система *Google* представляет собой мощный механизм. Без таких поисковых систем найти информацию в глобальной сети Интернет было бы практически невозможно. *Google* использует специальный поисковый алгоритм для получения результатов поиска. *Google* - лидер в сети Интернет.



Поисковая система *Апорт* является одной из популярных поисковых машин российского Интернета. *Апорт* позволяет пользователям осуществлять полнотекстовый поиск документов с учетом морфологии русского языка в запросах. Поисковая система использует уникальные алгоритмы сортировки найденных результатов.



«Рамблер» - первая поисковая система русскоязычного сегмента сети Интернет, созданная в 1996 разработчиками из Пушкино. «Рамблер» - один из лидеров по предоставлению медиа- и интернет-услуг русскоязычной аудитории Интернета во всем мире.



Yahoo - наиболее популярное поисковое средство. Секрет успеха *Yahoo* заключается в людях. *Yahoo* имеет 150 редакторов, для того, чтобы составлять и редактировать содержимое своих каталогов. *Yahoo* имеет базу данных в более, чем 1 млн. проиндексированных сайтов. В случае нехватки собственной базы данных, *Yahoo* использует базу данных *Google*. *Yahoo* - старейшая поисковая система (с 1994).



MSN search *MSN* поиск можно увидеть на множестве сайтов каталогов и т.д. *MSN* поиск находится по умолчанию в Интернет Эксплорере, когда пользователи Internet Explorer вводят в адресную строку поисковый запрос.



Поисковая база *GoGo.Ru* насчитывает 1,5 миллиардов веб-страниц, 100 миллионов изображений и миллиона видеороликов. Поисковый сервис позволяет осуществлять поиск по базе проекта Ответы@Mail.Ru.



Интеллектуальная поисковая система *Nigma.ru* - первая кластеризующая поисковая система в Рунете, которая поддерживает русскую морфологию и использует морфологический модуль собственной разработки. *Nigma.ru* - это совместный научный проект студентов, аспирантов и выпускников МГУ и *Stanford University*.

Популярными поисковыми системами являются: всеязычные: *Google* (36% Русскоязычного сегмента), *Yahoo!* (0,4 Рунета) и принадлежащие этой компании поисковые машины: *Inrtomi*, *AltaVista*, *Alltheweb*, *MSN* (0,2% Рунета) (принадлежит компании «*Microsoft*»), англоязычные и международные: *AskJeeves* (механизм *Teoma*), русскоязычные - большинство «русскоязычных» поисковых систем индексируют и ищут тексты на многих языках - украинском, белорусском, английском и др. Отличаются же они от «всеязычных» систем, индексирующих все документы подряд, тем, что в основном индексируют ресурсы, расположенные в доменных зонах, где доминирует русский язык или другими способами ограничивают своих роботов русскоязычными сайтами. *Ядекс* (44,4% Рунета), *Rambler* (10,6% Рунета), *Mail.ru* (7,3% Рунета), *Nigma* (0,5% Рунета), *Gogo.ru* (0,3% Рунета), *Aport* (0,2% Рунета).

Остановимся на некоторых из них несколько подробнее.

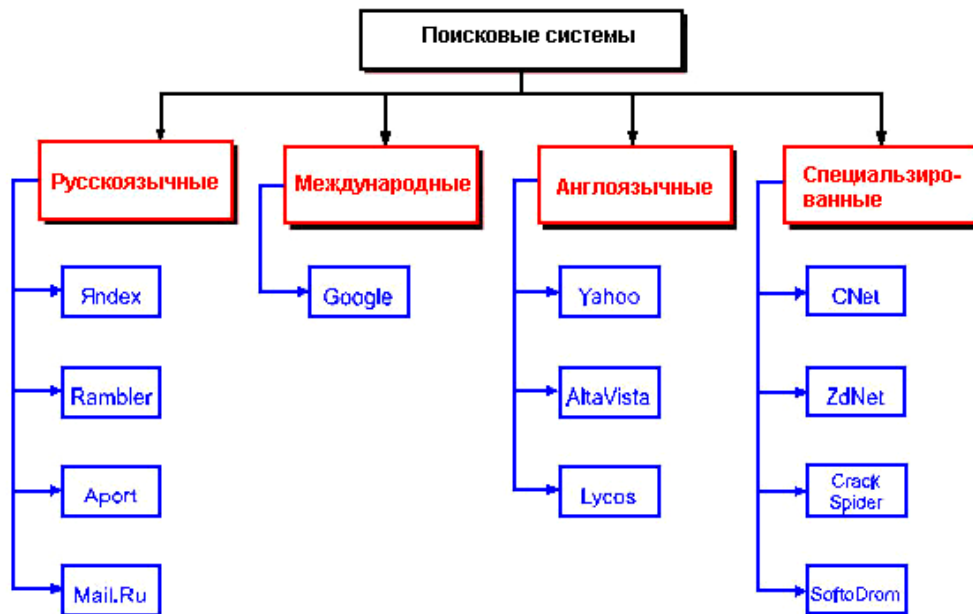


Рис. 1 Некоторые поисковые системы Интернет.

2.2 Google

Google Inc. («гугл», *NASDAQ: GOOG*) - американская компания, владеющая первой по популярности (77,04%) в мире поисковой системой Google, обрабатывающей 41 млрд 345 млн запросов в месяц. На поисковике базируется крупнейшая в мире система онлайн-рекламы *Google AdWords*. Рыночная капитализация компании 160 млрд долл. США (2008) - самый дорогой бренд в мире.

Google - искажённое написание английского слова *googol* (гугóл), придуманного Милтоном Сироттой, племянником американского математика Эдварда Каснера, для обозначения числа, состоящего из единицы и ста нулей.

Компания основана 4.09.1998, офис располагался в Калифорнии. Благодаря своим технологическим инновациям, Google стала обладателем множества наград Основатели компании – Сергей Брин и Лэрри Пейдж. Адрес: <http://www.google.ru>

Интерфейс *Google* содержит довольно сложный язык запросов, позволяющий ограничить область поиска отдельными доменами, языками, типами файлов и т. д. Кроме поисковой системы, сайт *google.com* предоставляет много других бесплатных услуг, в частности, почтовый сервис *Google Mail*, *Google Talk*. Самым популярным у третьесторонних создателей приложений стал сервис *Google Maps*. 28.06.07 Google возобновил сервис «Вопросы и Ответы», а 8.04.08 представил новую платформу для масштабируемых веб-приложений - *Google App Engine*.

Интерфейс поисковика предельно прост и понятен, главная страница не перегружена дополнительными элементами - новостями, баннерами, рекламой и т.п. Это особенно актуально для пользователей *dial-up* соединений (выход в Интернет по коммутируемой, т.е. телефонной линии). Поисковая машина *Google* узнает о новом появлении веб-страниц с помощью ссылок на нее с других сайтов. И поиск, и положение сайта в собственном рейтинге ищется по числу ссылок на ресурс (т.н. *Page Rank*). По желанию можно узнать, индексирован ли конкретный веб-сайт поисковым роботом Google, а также добавить любой ресурс в базу данных вручную. *Google* индексирует и осуществляет поиск в документах формата *HTML*, *PHP* (гипертекстовые документы Интернета), *DOC*, *RTF*, *XLS* (документы *Microsoft Office*), *PDF* (документы *Adobe Acrobat*), *SWF* (документы *Adobe Flash*), и файлов ряда других популярных форматов. Индексируя страницу, поисковый робот полностью изучает содержимое всех страниц сайта. К услугам пользователей *Google* - стандартный поиск документов, поиск в картинках, группах, в каталоге, а также расширенный поиск с возможностью задавать некоторые дополнительные параметры (тип файла, дату последнего изменения и т.д.).

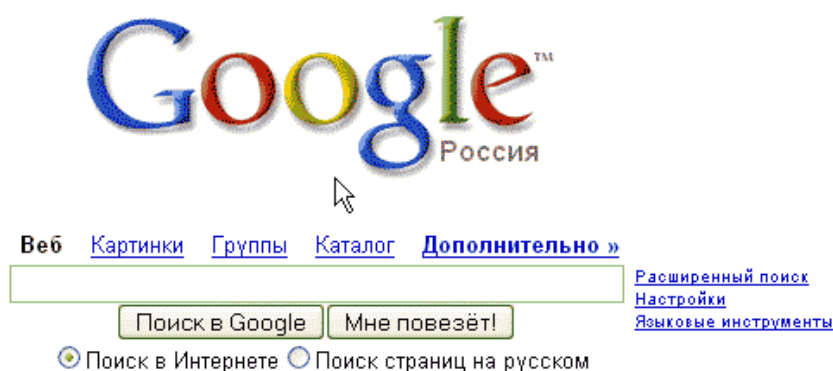


Рис. 2. Вид главной страницы поисковой системы *Google*

Логический оператор *И* подставляется автоматически на месте пробела. Еще один оператор, поддерживаемый поисковой машиной *Google* - это оператор «*И-НЕ*», обозначаемый в командной строке как «-». Если ввести в поисковой строке браузера: «машины – антикварные», то поисковая система выдаст все сайты, содержащие в себе слово «машина» и не содержащее слова «антикварные». Кстати, *Google* учитывает при поиске слов и их морфологические формы. В качестве оператора *ИЛИ* *Google* использует знак «+».

Поиск в Интернете с помощью *Google* прост и понятен. Однако использование специальных команд *Google* позволяет сделать поиск еще эффективнее, а результаты - более релевантными. Эти специальные команды *Google* вводятся в строку поиска для ввода поискового запроса перед параметром поиска; перед некоторыми командами необходимо указать символ -. Обратите внимание на то, что после символа пробел не ставится. Вот список специальных команд:

-allinlinks: - эта команда задает поиск только в названиях ссылок, а не в тексте или заголовке страницы;

-allintext: - наоборот, ищет только внутри текста на странице, но не в ссылках или названиях страницы;

-allintitle: - показывает результат поиска в заголовке страницы;

-allinurl: - показывает страницы, похожие на данный шаблон, например: *-allinurl:links.php*;

cache: - находит копию страницы, проиндексированной в *Google*, даже если эта страница уже не доступна по адресу или изменила свое содержание. Иными словами, эта команда проводит поиск в кеше *Google*. Она пригодится для просмотра страниц, контент которых часто меняется. Например: *cache:www.news.com*;

filetype: - позволяет ограничить поиск только файлами с заданным расширением. Однако *Google* воспринимает команды: *filetype:htm* и *filetype:html* как разные. *Google* поддерживает поиск в файлах наиболее популярных форматах: *PPT*, *PDF*, *XLS* и *DOC*. (синоним команды - команда *ext*);

info: - покажет страницу, содержащие ссылки на варианты поиска: поиск по похожим страницам; обратные ссылки и страницы, содержащие такую же ссылку;

intext: - в этом случае при поиске не будут учитываться заголовки страниц и ссылки, а будет просматриваться только текст тела страницы (между тегами *<body>* и *</body>*). Это бывает полезным, когда Вы ищите фрагмент текста и Вам безразлично, какой у страницы заголовок и какие ссылки;

intitle: - эта команда, наоборот, ограничивает поиск только заголовком страницы, т. е. содержимым тега *<title>*. Например: *intitle:первая полоса* (пробелом между командой и параметром быть не должно) приведет к тому, что *Google* выдаст ссылки на первую полосу русскоязычных Интернет-газет;

related: - с помощью этой команды Вы можете получить список страниц, похожих на данную. Например, указав: *related:lenta.ru* Вы получите список ссылок на другие онлайн-СМИ. Кроме того, *related*: - удобное средство, если Вы хотите узнать, к какой категории *Google* относит Ваш сайт;

site: - это, наверное, одна из самых часто используемых команд *Google*. Она позволяет ограничить поиск только указанным сайтом.

2.3 Yahoo!

Yahoo! (*NASDAQ: YHOO*) - американская компания, владеющая второй по популярности (12.46%) в мире поисковой системой и предоставляющая ряд сервисов, объединённых Интернет-порталом *Yahoo! Directory*; портал включает в себя популярный сервис электронной почты *Yahoo! Mail*, один из старейших и наиболее популярных в Интернете.

Не так давно была запущена новая версия почтового интерфейса, основанная на *AJAX*. Компания *Yahoo!* была основана аспирантами Стэнфордского университета Дэвидом Файло и Джерри Янгом в 1994; стала корпорацией 2.04.1995. Главный офис компании находится в Калифорнии. На сегодняшний день *Yahoo!* - первый по посещаемости веб-сайт в сети Интернет. Глобальная сеть веб-сайтов *Yahoo!*

обрабатывает 3,4 млрд запросов веб-страниц в день (2005).

Существует две версии происхождения названия. Согласно первой, слово было взято из книги Джонатана Свифта «Путешествия Гулливера» (в русском переводе Йеху, еху), где обозначает расу грубых и тупых человекообразных существ. Именно на этой версии настаивают основатели компании. Согласно второй, *Yahoo!* - акроним, образованный от фразы «Еще один иерархический неотесанный (неофициальный) прорицатель» (*Yet Another Hierarchical Officious Oracle*). URL сайта был следующим: <http://akebono.stanford.edu/yahoo>. Но есть и третья версия происхождения названия: *Yahoo* произошло от японского *Yahhoo* - «Привет». Однако, к тому времени *Yahoo* уже был зарегистрированной торговой маркой соуса для барбекю, поэтому к названию был добавлен восклицательный знак. 8.03.1997 *Yahoo!* приобретает портал *RocketMail* - один из первых бесплатных почтовых сервисов. Так появился сервис *Yahoo!Mail*. Кроме того, *Yahoo!* приобретает сервисы *ClassicGames.com*, который становится основой для *Yahoo! Games*, и *eGroups*, ставший впоследствии *Yahoo! Groups*. Наконец, 21.07.1999 *Yahoo!* вводит сервис для обмена мгновенными сообщениями *Yahoo! Messenger*. 3.06.2002 *Yahoo!* запустил на американском рынке национальный *Dialup* сервис, а 23.08.2005 *Yahoo!* запускает общенациональный *DSL* сервис. В 2005 *Yahoo!* запустил сервисы *Yahoo!Music*, *Flickr* и *Yahoo! 360* и приобрел ряд социальных сервисов - *blo.gs*, *Upcoming.org*, *del.icio.us* и *webjay*.

2.4 Рамблер

Rambler Media Group (AIM: RMG) - интернет-холдинг, включающий в качестве сервисов поисковую систему, рейтинг-классификатор ресурсов российского Интернета, информационный портал.

www.rambler.ru создан в 1996, авторы Дмитрий Крюков, Сергей Лысаков, Виктор Воронков, Владимир Самойлов, Юрий Ершов (компания Стек, г. Пушкино), начало работ 1991.

Rambler – (страник, бродяга) - роботы поисковой машины действительно ходят по сайтам, собирая информацию, круглые сутки не зная покоя. Адрес: <http://www.rambler.ru/>.

Поисковая система Рамблер понимает и различает слова русского, английского и украинского языков. По умолчанию поиск ведётся по всем формам слова. По умолчанию в Рамблере результаты ранжируются по степени соответствия (релевантность) запросу и группируются по сайтам. Настройки языка поиска: любой, русский, английский, украинский. Учитывается морфология. Одно время поисковая система Рамблер была самой популярной в рунете, но позже уступила лидерство Яндексу.

В настоящее время проект Рамблер перерос рамки поисковой системы: в него интегрирована система Интернет-пейджера *ICQ*, имеются собственные медиаканалы (например, телевизионный научно-познавательный канал *Rambler*). Рамблер - поисковая система, а не каталог. К этой системе прирастают проекты: *Rambler ICQ* (русифицированный Интернет-пейджинг); *Rambler Top 100* (счетчик посещений сайтов с системой ранжирования); *Rambler Афиша* (репертуары театров и кинотеатров, программа телепередач и радиотрансляций); *Rambler - Media* (собственный телеканал, системы продажи и доставки аудио- и видео- контента, др.); поиск товаров в Интернет-магазинах и т.п. Поисковая система умеет искать слова не только в тексте документов, но и те ресурсы, на которых установлены счетчики "*Top100*", "*TopShop*", "*TopList*", "*SpyLog*" и "*HotLog*".

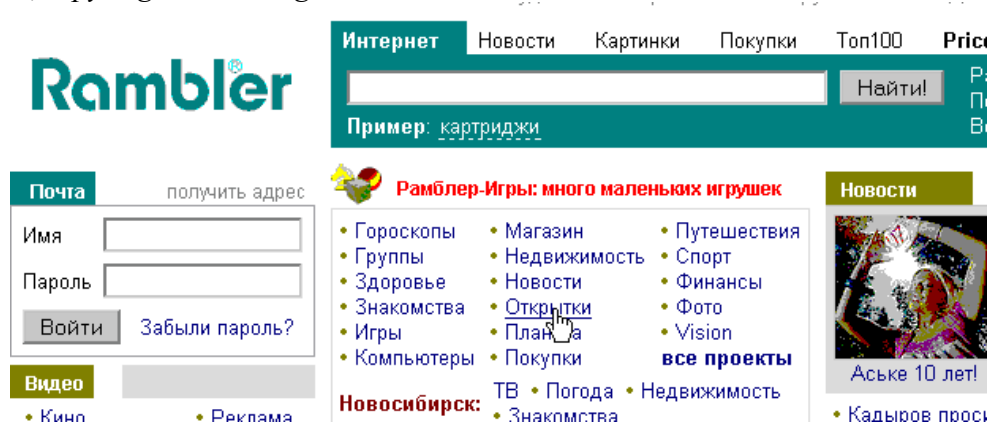


Рис. 3. Снимок экрана главной страницы Рамблера.

Весной 1997 появился *Rambler's Top100* - рейтинг-классификатор, который не только оценивает на основе объективных данных популярность российских ресурсов, но и позволяет одним «кликом» попасть на них. *Rambler* всегда находит даже самые свежие документы, включая последние новости. *Rambler* понимает живой русский язык, знает, что бывает «б/у», «у.е.» и «а/я». Механизм ассоциаций помогает пользователю

точнее сформулировать свой запрос и, следовательно, быстрее найти искомый ресурс. Для тех, кто точно знает, что ищет, и не хочет тратить лишнее время, открыта лаконичная версия поиска по адресу *ro.ru* (Арнольд). На этой странице есть только самое основное, т. е. строка поиска, новости и почта. *Rambler Mass Media* - одна из крупнейших информационных площадок российского Интернета. Это универсальный источник информации о событиях в стране и в мире, наиболее привлекательная рекламных площадок русскоязычного Интернета. Уникальность проекта состоит в беспрецедентном охвате источников информации: *Rambler Mass Media* круглосуточно взаимодействует с 50 ведущими российскими и зарубежными СМИ. *Rambler Mass Media* - лидер по внедрению мультимедиа. Помимо текстовых материалов и фоторепортажей, *Rambler Mass Media* представляет пользователям аудио и видеосюжеты, в числе поставщиков которых ВГТРК и BBC, *Deutsche Welle*, радио "Маяк" и др. Заголовки важнейших новостей размещаются на первой странице портала *Rambler.ru* и в блоке «Главные новости дня» на главной странице *Rambler Mass Media*. Наиболее актуальные новости могут читать и посетители других сервисов Рамблера - Рамблер Почты, Погоды на Рамблере. Спектр освещаемых тем достаточно широк: политическая и экономическая жизнь России, стран ближнего и дальнего зарубежья; новости бизнеса и финансов, чрезвычайные происшествия, спорт, новости медицины, культуры, технологий, Интернета; также обзоры прессы. В рамках проекта действует сто пятидесять постоянно обновляемых информационных сюжетов, которые рассказывают как о наиболее актуальных и общественно значимых на сегодняшний день событиях, так и о том, что уже стало историей. Использование большого количества информационных источников позволяет *Rambler Mass Media* предоставлять аудитории полную и достоверную информационную картину дня: один и тот же информационный повод может быть подан различными СМИ по-разному, с разным набором фактов, деталей и комментариев. Предоставление максимально полной фактологии событий, равно как и аналитических материалов ведущих средств массовой информации делает *Rambler Mass Media* оптимальным посредником между теми, кто производит информацию, и теми, кто её потребляет.

Пользователям поисковой системы *Rambler* доступен механизм ассоциаций. Набрав в поисковой строке нужное слово, вы кликаете на окно «найти». Открывается так называемая ответная страница, в которой найденные документы расположены в порядке убывания релевантности (соответствия запросу). На этой же странице в самом низу - строка «У нас также ищут». В ней приведено несколько слов и словосочетаний, тематически (ассоциативно) связанных с вашим исходным запросом. Рамблер приступает к созданию системы социальных сервисов онлайн. К примеру, из проекта «Здоровье» на *Rambler* можно найти лекарство в аптеках Москвы, а в проекте «Право» собраны все нормативные документы, которые могут понадобиться человеку, проживающему в России. Список таких социальных проектов будет расти. В 2003 был основан Фонд исследований и социальных инициатив *Rambler*, или Фонд *Rambler*, задача которого - максимально полное раскрытие потенциала сети как коллективного разума или суммы знаний пользователей, а также содействие тем, кто старается изменить мир к лучшему. *Rambler* остаётся лидером Интернет-индустрии и на глазах превращается в крупнейшую медиагруппу по охвату аудитории после национальных телевизионных каналов.

2.5 Яндекс

Яндекс – российская ИТ-компания, владеющая одноимённой системой поиска в Сети и интернет-порталом. Поисковая система «Яндекс» является девятым среди крупнейших поисковых сайтов мира по количеству обработанных поисковых запросов (566 млн - 0,9% (2007)) и вторым крупнейшим неанглоязычным поисковым сервером после китайского.

Название Яндекс - сокращение двух слов: «Языковой» и «Index». В названии «Яндекс»/«Yandex» присутствует реминисценция с названием первой поисковой системы «Wandex». Первым масштабным лозунгом, запущенным «Яндексом», является фраза «Найдётся всё!» и после паузы следовало добавление: «Со временем». Сайт компании открыт 23.09.1997. Главный офис в Москве. Генеральный директор Аркадий Волож. Адрес: <http://www.yandex.ru/>. Лидирующая поисковая система Рунета. Основное направление - поиск данных в сети Интернет, прежде всего - в ее российском сегменте. Индексирует базы на русском, английском, немецком, французском, украинском и белорусском языках. Основные сервисы: каталоги Интернет-ресурсов; бесплатная почта; бесплатный хостинг (<http://www.narod.ru/>); платежная система Яндекс-деньги (<http://money.yandex.ru/>); сборник рефератов; и др.

Основные отличительные черты: проверка уникальности документов (исключение копий в разных кодировках); учёт морфологии русского языка (в том числе и поиск по точной словоформе); поиск с учётом расстояния (в том числе в пределах абзаца, точное словосочетание); алгоритм оценки релевантности, учитывающий не только количество слов запроса, найденных в тексте, но и «контрастность» слова (его относительную частоту для данного документа), расстояние между словами и положение слова в документе;

возможность «Найти похожий документ», список найденных серверов, поиск в заданном диапазоне дат, сортировка результатов поиска по времени последнего изменения; поиск по разным зонам текста (заголовкам, ссылкам, аннотациям, адресам, подписям к картинкам); ограничение поиска на группу сайтов, поиск по ссылкам и изображениям; выделение документов на русском языке, понятие «индекс цитирования» - количество ресурсов, ссылающихся на данный.

Бесплатная почта Яндекса имеет удобный интерфейс, гибкие настройки, обладает антиспамовым фильтром и интегрирован в систему бесплатного хостинга. Бесплатный хостинг Яндекса является ведущим в Российском сегменте Интернета. Хотя он имеет возможность отображать только статические Веб-страницы, что ограничивает область его коммерческого применения, удобство размещения страниц и доступа к сайту, наличие шаблонов содержания и клипарта, отсутствие ограничений на коммерческую деятельность делает его лучшим хостингом для начинающих веб-дизайнеров.

Платежная система Яндекс-деньги является удобной системой оплаты за приобретаемые через Интернет программы, приобретение товаров в Интернет-магазинах (например, *SoftKey*), биллинговые расчеты с операторами мобильной телефонии и провайдерами Интернета, а также (не везде) за спутниковое телевидение и коммунальные платежи. Эта система является второй по популярности платежной системой в Рунете, после *Webmoney*. Новичкам, не освоивших премудрости работы с поисковым алгоритмом Яндекса, система предлагает возможность расширенного поиска. В расширенном поиске пользователь просто отмечает нужные ему пункты, и Яндекс ищет текст вместе с ограничениями, налагаемые на отчёт о найденных документах.

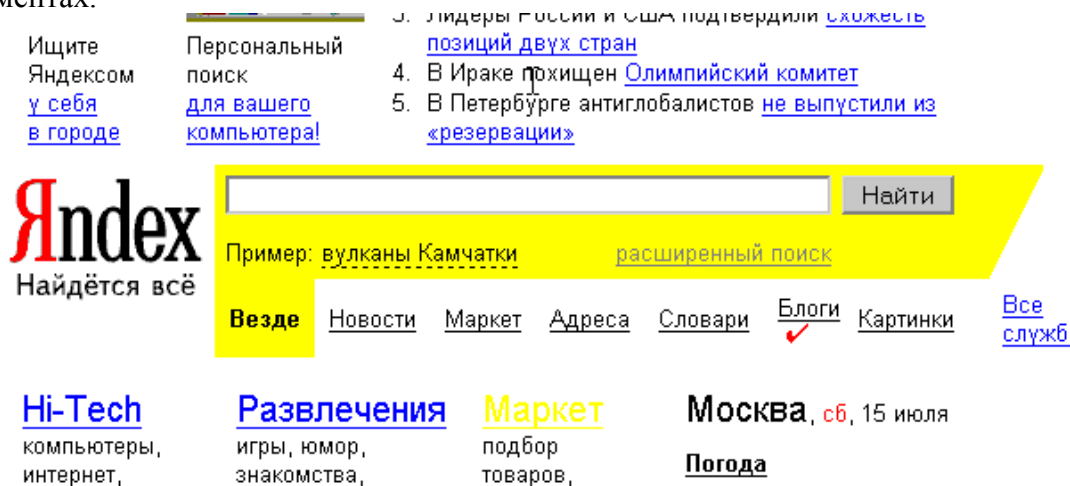


Рис. 4. Снимок экрана главной страницы Яндекса

2.6 Nigma

Nigma.ru - прогрессивная российская интеллектуальная поисковая система. Первая кластеризующая и метапоисковая система в Рунете. Научный проект Nigma создан при поддержке МГУ им. М.В.Ломоносова и Stanford University.

Название - *Nigma* (один из трех родов пауков семейства *Dictynidae*) было выбрано по связи с Сетью, Всемирной паутиной, Интернетом. На момент появления *Nigma.ru* в проекте участвовало 3 человека. На начало 2009 года в проекте работает 15 человек. *Nigma* осуществляет поиск как по своему индексу, так и по индексам *Google*, *Yahoo*, *MSN*, *Yandex*, *Rambler*, *AltaVista*, *Aport*. По состоянию на 28.02.09 в индексе этих поисковых систем находится более 7160000000 русскоязычных документов.

На основе введённого пользовательского запроса *Nigma* формирует список документов, разделённых на несколько классов (кластеров)). Пользователь может уточнить в каком классе продолжить поиск, тем самым улучшив релевантность результатов поиска. Пользователь может исключить ненужные ему классы сайтов, например документы, пришедшие с интернет-магазинов (для них формируется специальный кластер). Список кластеров выводится слева от списка результатов поиска. Для каждого кластера указывается образующая его фраза и количество документов в кластере. Пользователь может управлять кластерами при помощи специальных ссылок под списком кластеров. Например, запрос: музыка, курсы, каникулы. *Nigma* поддерживает русскую морфологию. Используется морфологический модуль для русского языка собственной разработки.

Nigma использует искусственный интеллект на базе нейтронной сети для выбора более релевантных результатов. Операторы *AND* и *+*, *OR*, *"*, *'*, *-*, *site*. Скобки позволяют группировать слова запроса для применения к ним оператора. Например: микроволновая печь *samsung* (руководство *OR* документация) слова «руководство» и «документация» объединены скобками для того, чтобы оператор *OR* применялся только к ним. Поддерживается орфография на базе словаря, составленного из реальной русской орфографии,

которую авторы веб-сайтов используют на своих страницах, за исключением жаргона падонков. *Nigma.ru* исправляет грубые ошибки, опечатки, предлагая пользователю на выбор не один, а несколько вариантов исправлений. Корректируются ошибки, связанные с неправильным выбором раскладки клавиатуры *fibrf*-ошибка, (включая комбинации с другими ошибками). Словарь интеллектуальной поисковой системы расширен названиями известных брендов, набирать которые в строке запроса пользователь может даже на русском языке, так как Нигма автоматически расширяет поиск альтернативным написанием бренда. В *Nigma.ru* есть сервис расшифровки сокращений. Сокращения вводятся в строку поиска и параллельно с поиском документов ведется поиск расшифровок сокращений. Расшифровки, которые получили подтверждения в найденных документах, попадают в список кластеров. А те расшифровки, которые не получили подтверждения документами, попадают в специальный псевдокластер «Аббревиатуры».

Система *Nigma* позволяет не только производить простейшие арифметические преобразования, но и решать математические задачи различной степени сложности. Нигма распознает тысячи физических, математических констант и единиц измерения, что позволяет производить операции с множеством величин (в том числе решать с ними уравнения) и получать ответ в требуемых единицах измерения. Помимо уравнений система решает все задачи, характерные для калькуляторов поисковых систем и конверторов валют. Нигма умеет считать в дробях и знает общеупотребимые синонимы валют. Например, можно посчитать, сколько рублей в баксе. Пользователи могут решать различные математические задачи (упрощать выражения, решать линейные и квадратные уравнения, системы уравнений, уравнения с единицами измерения, конвертировать валюты, вычислять модуль числа, упрощать тригонометрические выражения, сокращать дроби и многое другое), вводя их прямо в строку поиска в виде строгого или нестрогого (обычного) текста.

Система позволяет производить поиск по 12000 неорганическим реакциям. Вещества можно записывать как при помощи названий («хлорид натрия», «каменная соль»), так и в виде формул («NaCl»). Для введенного набора из одного или нескольких веществ система попытается найти реакции с их участием. Если пользователь хочет найти определенную реакцию, он вводит вещества, разделяя их знаками «+», например, «гидроксид натрия+HCl». Система найдет все реакции с участием NaOH и соляной кислоты. Разработчики предусмотрели возможность указать с какой стороны в реакции находятся искомые вещества. Например, если написать знак «равно» после веществ: «2KOH+H₂SO₄=», то Нигма найдет только те реакции, где гидроксид калия и серная кислота находятся в исходных веществах. Если пользователь напишет знак «равно» перед реакцией: «=NaCl+H₂S», то Нигма найдет те реакции, где в конечных продуктах есть каменная соль и сероводород. Если пользователь укажет вещество и конечный продукт: «KOH=KCl», то *Nigma* отыщет все реакции, в которых из гидроксида калия получается его хлорид. Кроме молекулярной формулы для реакций, идущих в растворах, система выдает ионную формулу. Система способна подсказать пользователю, почему требуемая реакция невозможна. Например, если спросить у Нигмы, что будет при взаимодействии «K + NaOH», система даст ответ: «В водном растворе идет не указанная реакция, а взаимодействие калия с водой».

Команда разработчиков *Nigma.ru* расширила функциональность поиска по химическим реакциям. Теперь можно искать не одну реакцию, а сразу целую цепочку, например: NaCl = Na = NaCl = NaH = NaOH = NaHSO₃. Система разобьет цепочку на стадии и подробно опишет, как из одного вещества получить другое. Для разделения стадий также можно использовать стрелочки, например, так: Fe→FeS→H₂S→S→Na₂S₂O₃→Na₂S₄O₆. В цепочках могут быть и неизвестные вещества, которые можно обозначать буквой «X»: Ag→X→AgNO₃→X→ Ag(NH₃)₂OH→X→Ag, а также знаком вопроса и многоточием: Cu₂O→X→CuSO₄→?→CuCl₂→...→Cu₂O.

В ответ на запрос пользователи увидят три самые свежие новости прямо на странице результатов поиска. Разработчики обработали данные более 3500 rss-лент СМИ и популярных блогов. На сайте также есть форма, через которую пользователи сами могут добавлять новостные ресурсы в индекс поисковой системы. База данных новостей обновляется каждые 5 минут. Система предлагает варианты на основе предыдущих запросов пользователей *Nigma.ru*. Напротив предложенных примеров автозаполнения выводятся наиболее релевантные сайты, связанные с запросом пользователя. Перейти на нужный сайт можно не вбивая запрос до конца, а лишь выбрав его из списка и нажав клавишу «вправо», или просто кликнув мышкой по ссылке. Если же нужный сайт находится на первом месте в подсказке, то его можно не выделять, а перейти на него только с помощью клавиши «вправо». Например, если ввести две буквы: «по» и нажать клавишу «вправо», то откроется сайт *gismeteo*. Максимально упрощен переход на самые популярные сайты среди пользователей Нигма.ру. Если раньше, чтобы попасть на сайт «Одноклассники», нужно было набрать 13 букв, нажать «Enter», дождаться поисковой выдачи, а потом кликнуть на первый результат, то теперь пользователи *nigma.ru*, удерживая клавишу «О» несколько секунд, а потом отпустив её, тут же

попадут на сайт «Одноклассники». То же самое будет при нажатии клавиш: «в» (пользователь попадет на сайт «в контакте»), «ю» («youtube.com»), «з» («[зайцев.нет](http://zaycev.net)») и т.п. Причём пользователю не нужно переключать язык - вместо «о» можно нажать на «j» и он также будет перенаправлен на сайт одноклассников.

Через вкладку «Музыка», пользователи Нигмы смогут найти и сразу послушать любимую песню прямо на странице результатов поиска. Поисковый робот *Nigma.ru* находит в Интернете музыкальные файлы и индексирует теги, содержащиеся в этих самых файлах. Когда пользователь ищет во вкладке «музыка», то Нигма находит музыкальные файлы, а пользователь в качестве результатов получает прямые ссылки на них. Сейчас поисковая система проиндексировала 1600000 аудио файлов.

2.7 Quintura

Quintura - визуальная поисковая система. Сайт www.Quintura.ru открыт в апреле 2006. Отличие *Quintura* от традиционных поисковых систем раскрывается в концепции «Увидеть и Найти» - увидеть на карте и найти в интернете. *Quintura* позволяет визуально находить в Рунете документы на русском языке и картинки с учётом морфологии русского языка.

Особенность *Quintura* - визуальное «облако», или карта слов-ассоциаций между картинками или документами, которая является удобным навигатором по ним. Используя принцип *Quintura*, когда поиск осуществляется одним щелчком мыши, пользователь видит слова на карте и щёлкает мышкой по ним, быстро находя необходимые картинки и документы. Если традиционные поисковые системы, «равнодушны» к предмету поиска пользователя в Интернете, включая поиск по картинкам, то *Quintura* предлагает слова-ассоциации в виде визуального облака. Эти слова помогают пользователю общаться с поисковой системой на одном языке, уточнить поисковый запрос, определить тему поиска, и сразу увидеть результаты поиска.

Визуальная карта (облако) указывает на возможные направления для дальнейшего поиска, позволяет выбрать желаемое направление при помощи мыши. Работа с визуальной картой осуществляется при помощи мыши: наведением указателя мыши - просмотреть окружение слова и загрузить новые результаты; щелчком кнопки мыши - добавить слово в запрос; исключить результаты, содержащие слово - нажав указателем мыши на крестик справа от слова; убрать ненужное слово запроса - «отщелкнуть» мышкой ненужное слово.

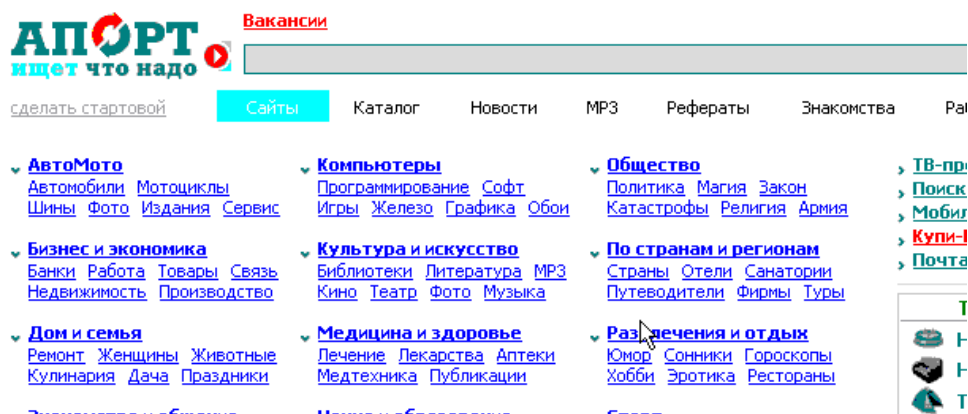


Рис. 5. Снимок экрана главной страницы Апорта.

2.8 Aport.

Aport - одна из поисковых систем Рунета, громко заявившая о себе в начале XXI века. Она отличается более совершенным алгоритмом поиска и меньшим, чем в других поисковиках, количеством рекламы.

Эта система индексирует не только содержимое сайтов, но также и специальные теги: `<title>`, `<meta keywords=>`, `<meta description=>`, `` и др., что позволяет Веб-мастерам правильно «оптимизировать» свои сайты. Несмотря на меньшее количество проиндексированных сайтов в Апорте, чем у конкурентов (а, может быть, благодаря этому), система дает меньше «сорных» ссылок, а сами ссылки больше соответствуют теме запроса. Эти особенности поиска позволяют рекомендовать эту поисковую систему для поиска информации в Интернете. Адрес: <http://www.aport.ru/>

2.9 Mail RU

Эта поисковая система выросла из тематического каталога портала **MAIL RU**. Этот портал первоначально

предназначался для размещения в нем бесплатных почтовых ящиков. До сих пор это основной бизнес портала. В настоящее время в портале открываются новые сервисы: блоги, фотогалереи, он-лайн торговля, платежная система Деньги@mail.ru, новостной портал и т.п. Адрес: <http://go.mail.ru/>

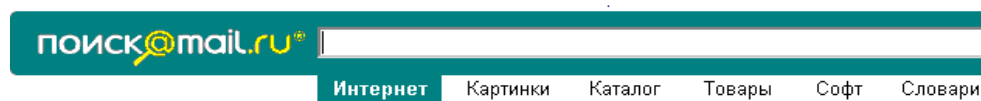


Рис. 6. Снимок экрана главной страницы поиска портала.

3. ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Информационная инфраструктура - система организационных структур, обеспечивающих функционирование и развитие информационного пространства страны и средств информационного взаимодействия.

Информационная инфраструктура включает совокупность информационных центров, банков данных и знаний, систем связи; и обеспечивает доступ потребителей к информационным ресурсам.

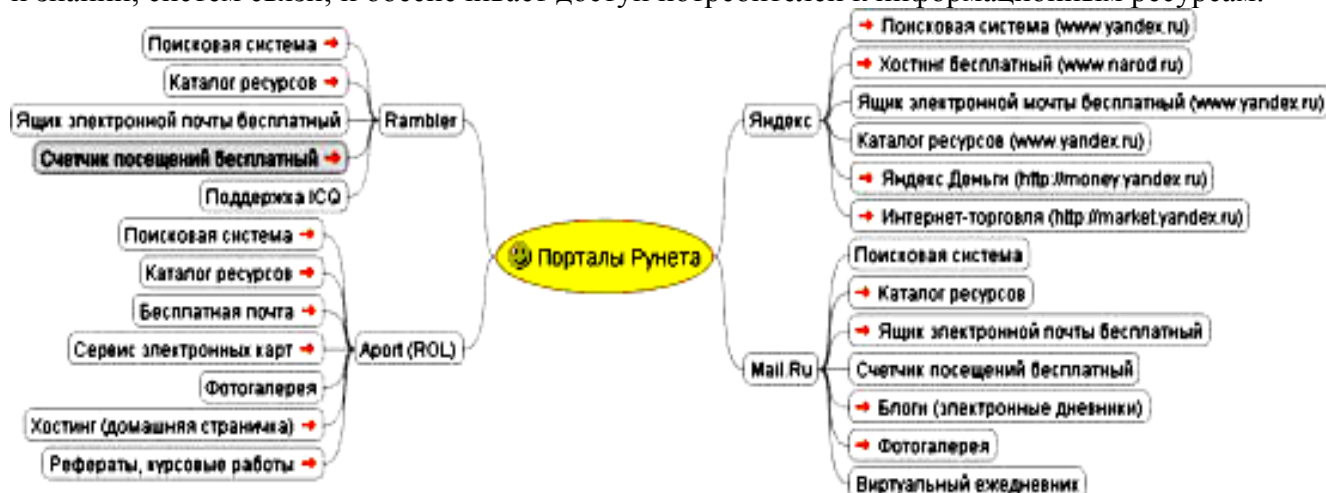


Рис. 7. Интеллект-карта "Порталы Рунета".

3.1 Информационные ресурсы в сети Интернет

Информационные ресурсы в сети Интернет: Виртуальный центр информационной поддержки нанотехнологий, Путеводитель по информационным ресурсам в сети Интернет, Естественные и технические дисциплины, Правовые ресурсы, Путеводитель по медицинским ресурсам Интернета, Спортивные ресурсы сети Интернет, Регистр ресурсов WWW, Газеты стран мира, Официальные периодические издания, Периодические издания по экономике и праву, Краеведческие ресурсы на библиотечных сайтах.

Информационные ресурсы в сети Интернет включают: Поисковые системы и каталоги, Библиотеки, библиотечные организации и информационные центры, Подписные ресурсы (доступ для читателей РНБ), Архивы электронных текстов и виртуальные библиотеки, Общедоступные базы данных, Словари, энциклопедии, справочники, Издательства, Онлайн-книжные магазины, Специальные виды научной и технической документации (патенты, стандарты и т.д.), Гуманитарные науки, Социально-экономические науки, Естественные и технические науки, Медико-биологические науки. Поисковые системы позволяют находить веб-страницы, содержащие указанные в запросе пользователем слова. Веб-каталоги содержат сгруппированные по темам (или иным образом) ссылки на веб-ресурсы.

Российские поисковые системы

Nigma

Scholar.ru - поиск научных публикаций

Зарубежные поисковые системы

Ask.com Search Engine

Google

Апорт
Поиск@MAIL.RU
Рамблер
Яндекс

MSN Search
Scirus - система поиска научной информации
Yahoo

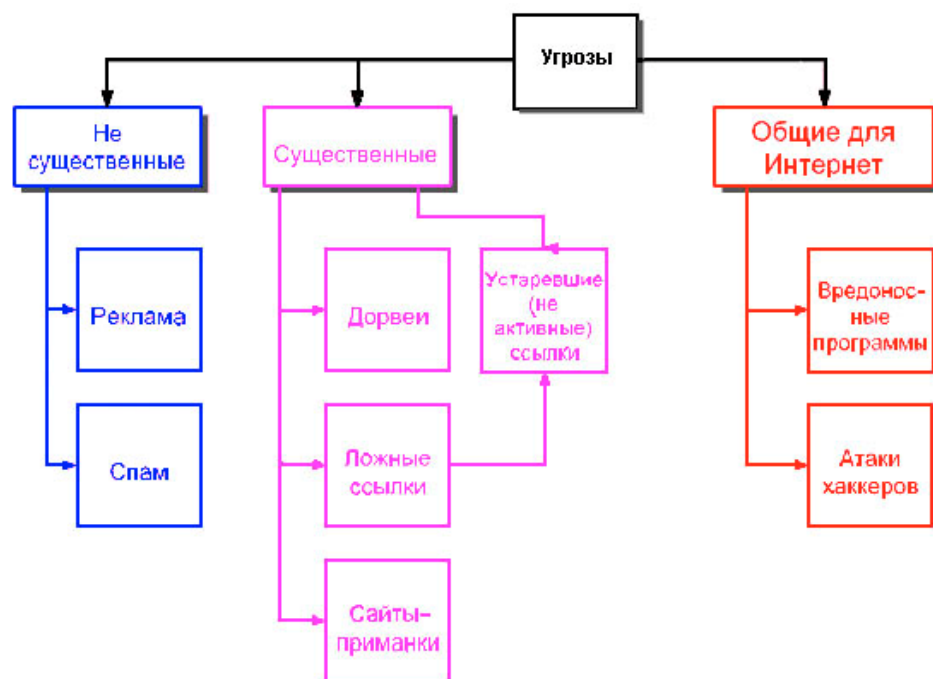


Рис. 8. Угрозы поиску в Интернет.

Библиотеки, библиотечные организации и информационные центры подразделяются:

- По видам (Российские библиотеки и информационные центры Федерального уровня, Национальные библиотеки, головные информационные центры, Межотраслевые информационные центры, Отраслевые информационные центры, Специализированные библиотеки, Центральные отраслевые библиотеки Регионального уровня, Региональные российские библиотеки, Библиотеки российских вузов);
- По видам библиотек (Областные, краевые, национальные, Вузовские, Университетские, Библиотечные, культуры и искусства, Медицинские, Педагогические, Сельскохозяйственные, Театральные, Технические, Филологические, Экономические, Юридические)
- Другие (Библиотеки научных учреждений, Библиотеки предприятий и организаций).
- Виртуальные (Российские, Зарубежные).
- По отраслям знания (Российские библиотеки и информационные центры, Универсальные информационные центры, Национальные библиотеки, головные информационные центры, Специализированные библиотеки, Межотраслевые информационные центры, Зарубежные библиотеки, Национальные библиотеки, Библиотеки университетов, Библиотечные организации (Российские, Зарубежные).

Подписные ресурсы включают в себя: Российские базы данных, Зарубежные базы данных, Гуманитарные и социально-экономические науки, Медико-биологические науки, Естественные и технические науки, Политематические ресурсы.

Архивы электронных текстов и виртуальные библиотеки представляют собой онлайн-коллекции оцифрованных произведений печати. Собрания виртуальных библиотек отличаются, как правило, более тщательной подготовкой текстов, если над ними работает специальная редакторская группа. Они включают: Полные тексты книг, Российские виртуальные библиотеки, Зарубежные виртуальные библиотеки, Полные тексты периодических изданий, Российские и зарубежные архивы периодики. Сетевые средства массовой информации: Отечественные и зарубежные сетевые СМИ, Поиск в отечественных и зарубежных интернет-каталогах. Общедоступные базы данных: Российские и зарубежные реферативные и полнотекстовые базы данных. Словари, энциклопедии, справочники: Энциклопедии и справочники универсального содержания, Словари универсальные толковые, Словари сокращений, Словари для перевода, Биографические справочники, Поиск справочников, словарей, энциклопедий. Издательства: Отечественные и зарубежные. Онлайн-книжные магазины: Отечественные и зарубежные. Специальные виды научной и технической документации (патенты, стандарты и т.д.): Отечественные и зарубежные. Гуманитарные науки: Справочные

источники по педагогике, Отечественные и зарубежные ресурсы. Социально-экономические науки: Правовые и экономические ресурсы, Отечественные и зарубежные ресурсы. Естественные и технические науки: подписные и общедоступные Медико-биологические науки: подписные и общедоступные

Подписные ресурсы: примером является *The SPIE Digital Library* - авторитетный международный ресурс в области оптики, фотоники, воспроизведения изображений. Сборники материалов конференций и журналы *SPIE* содержат важнейшие публикации с 1990 по настоящее время. Тематика: прикладные дистанционные измерения, биомедицинская оптика, оптическая техника, электронные изображения и их обработка, микро/нанолитография, астрономия, оптика для астрономических исследований, сенсорная техника различного назначения, коммуникации, информационные технологии. Количественный охват: свыше 250 тыс. статей. Ресурс содержит 8 научных журналов: *Proceedings of SPIE*: с 1990 *Optical Engineering*: с 1990 *Journal of Electronic Imaging*: с 1992 *Journal of Biomedical Optics*: с 1996 *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*: с 2002 *Journal of Applied Remote Sensing*: с 2007 *Journal of Nanophotonics*: с 2007 *SPIE Letters Virtual Journal*: с 2005 *Society of Photographic Instrumentation Engineers* было основано в 1955 для специализации исследований в области фототехники и прикладной оптики. В 1981 официальное название

общества было определено как *The International Society for Optical Engineering*. В 2007 официальным названием общества стала аббревиатура *SPIE*.



Рис. 9. Информационный процесс.

Электронные библиотеки: Научные электронные библиотеки, Электронные библиотеки университетов, Художественная литература, Подписные агентства и сервера с полнотекстовыми электронными изданиями, Сайты об электронных библиотеках, Ссылки на электронные библиотеки.

Научные электронные библиотеки: Научная электронная библиотека *Elibrary* - полнотекстовые электронные версии лучших журналов издательства *ELSEVIER SCIENCE* по всем направлениям фундаментальной науки., Открытая Русская электронная библиотека (Электронная библиотека Российской государственной библиотеки), Библиотека портала *Auditorium.ru* (Библиография учебники и

учебные пособия, монографии, сборники статей..., Электронная библиотека Института философии Российской Академии Наук. Интернет-сайт компании «Консультант-плюс»), Библиотека проекта «1912 год», *Public.Ru* - публичная Интернет-библиотека, База данных по СМИ России 1996-2002, Психологическая библиотека проекта *PSyberLink*. Электронная библиотека «Наука и техника». Миркин.*Pu* - Финансовая электронная библиотека. Фундаментальная электронная библиотека «Русская литература и фольклор» - полнотекстовая информационная система по произведениям русской словесности. Библиотека образовательного портала «Экономика, Социология, Менеджмент» Библиотека на федеральном портале «Российское образование» «Нефть и газ» - крупнейшая электронная полнотекстовая библиотека технической литературы в России. Библиотека канадских диссертаций на английском и французском языках. Полнотекстовая американская патентная база.

Электронные библиотеки университетов: Электронная библиотека центра дистанционного образования Московского государственного университета печати, Электронная библиотека Фундаментальной библиотеки СПбГПУ, Электронная библиотека регионального информационно-аналитического центра коллективного пользования «ЮГ России», Межвузовская электронная библиотека Международного университета бизнеса и новых технологий (г. Ярославль), Межвузовская электронная библиотека Уральского государственного технического университета, Архив электронных публикаций Калининградского государственного университета, Сайт цифровых учебно-методических материалов Владивостокского Государственного Университета Экономики и Сервиса, Электронная библиотека Информационно-библиотечного центра Тюменского государственного университета.

Компьютерные коммуникации

Поиск информации в Интернет

Поиск информации по известным URL (адресам) Web-документов

- 1) Запустить программу-браузер.
- 2) Набрать в строке АДРЕС новый URL из списка адресов на заданную тему. Например: тема "Спорт"

http://bure.virtualave.net	Павел Буре - новости, биография, фото...
http://mountain.ru	Горы - восхождения, экспедиции, снаряжение...
http://body2000.hobby.ru	Новости бодибилдинга
http://www.deol.ru/users/gluden	Московская школа Таэквондо



- 3) Сохранить открытую в браузере страницу с помощью команды меню Файл (File) Сохранить как (Save As) и задать имя файла.

Поиск информации по ключевым словам с использованием поисковых систем

Поисковые системы в Интернет с поддержкой русского языка:

- ♦ Aпорт (<http://www.afort.ru>)
- ♦ RAMBLER (<http://www.rambler.ru>)
- ♦ YANDEX (<http://www.yandex.ru>)
- ♦ ALTAVISTA (<http://www.altavista.ru>)

- 1) Запустить программу-браузер.
- 2) Загрузить поисковую систему, введя ее URL в строку Адрес.
- 3) Ввести запрос (одно или несколько ключевых слов) в предназначенное для этого поле и нажать экранную кнопку Поиск (Search) или Найти (Find).
- 4) Результат поиска - список гиперссылок. Выбрать из них интересующие.
- 5) Если список полученных гиперссылок очень большой, то сделать новый запрос, сузив предмет поиска.



Художественная литература: Библиотека Максима Мошкова - художественная литература, фантастика и политика, техдокументация и юмор, история и поэзия и т.д. Академическая электронная библиотека русской классической литературы. Стихи.Ru - коллекция современной русскоязычной поэзии. Есть энциклопедия поэзии, в которой можно найти объяснение всех терминов, основные методы стихосложения и основы литературоведения, а также биографии и этапы творческого пути известных поэтов с описанием классических поэтических школ и направлений. Классика.Ru - электронная библиотека классической литературы. Русская фантастика и фантастика в сети - на сайте расположены страницы Кира Булычева, братьев Стругацких. Историко-литературное издание «Каталог» - посвящено Серебряному веку и культуре русской эмиграции «первой волны». Букинист - новости букинистики, библиофилии и собирательства. Статьи о современных малотиражных изданиях, заметки о коллекционерах, библиофилах, издателях и художниках книги. «Библиография русской поэзии 1990-х годов». Библиотека Античной Литературы - античная классика на русском языке. Сайт Эдварда Радзинского *Gumilevica* - собрание сочинений Л. Н. Гумилева *The Internet Classics Archive* Античная классика в академическом исполнении на языке оригинала с переводом и комментариями на английском языке. *The Perseus Digital Library Classics (Greek, Latin, Archaeology)*, *Papyri (Duke Data Bank)*, *English Renaissance (Shakespeare, Marlowe)*.

Подписные агентства и сервера с полнотекстовыми электронными изданиями: Научная электронная библиотека *Elibrary* Полнотекстовые электронные версии журналов издательства *ELSEVIER SCIENCE* по всем направлениям фундаментальной науки. Атлас Аналитика Энциклопедия: Библиотечно-библиографическая база знаний и опыта (доступ платный) *EBSCO EBSCOweb Community* - доступ к 6000 полнотекстовым электронным версиям журналам, книг, справочников, диссертаций (доступ платный, sobolev@libfl.ru, vsobolev@ebSCO.ru) *Swets Blackwell* Портал, включающий 6000 наименований электронных баз данных (доступ платный, swets@dol.ru) *East View* Одно из крупнейших подписных агентств, поставляющее периодические издания. Содержит 6000 названий (доступ платный, sales@mosinfo.ru) *Ebiblioteka* Базы данных России, СНГ, Балтии и Китая (доступ платный, sales@mosinfo.ru).

Сайты, имеющие отношение к электронным библиотекам: Поисковая система «Букинист» - поиск книг и электронных текстов в Интернет; Российские электронные библиотеки - информационно-интерактивный портал Электронные библиотеки. Первый российский электронный научный журнал посвященный электронным библиотекам. Корпорация «Электронный Архив». Разработка комплексных решений, предназначенных для преобразования больших массивов информации в электронный вид, создания, наполнения и оснащения электронных архивов, поставки и сервисного обслуживания профессиональной техники.

2.2 Электронные энциклопедии

Электронная энциклопедия - энциклопедия, представленная в электронном виде, с использованием компьютера и/или компьютерной сети.

В Интернете находится множество энциклопедий, словарей и справочников, как платных, так и бесплатных, как специализированных, так и общих, как подготовленных специалистами, так и написанными

всеми желающими. Примерами являются Большая энциклопедия: энциклопедический и толковый словарь (www.doco.ru 100000 слов); Универсальная энциклопедия Кругосвет (история, медицина, технологии и др. (статьи, карты, иллюстрации) www.krugosvet.ru), Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия (универсальная и несколько тематических энциклопедий и словарей. Возможность поиска информации по ключевым словам mega.km.ru), Электронная энциклопедия Компьютерра (www.computerra.ru) и др. Мы здесь ограничимся двумя лишь двумя: Википедией и Викизнанием.

Википедия *Wikipedia is a multilingua , Web-based, free-content encyclopedia project* - один из самых известных сайтов в сети Интернет, проект по созданию свободно распространяемой энциклопедии в сети Интернет на многих языках мира. Адрес главной страницы: http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Википедия на русском языке - часть многоязычного проекта, целью которого является создание полной энциклопедии на всех языках Земли. Эта цель не ограничена каким-либо количеством статей. Секция Википедии на русском языке находится по адресу: <http://ru.wikipedia.org>

Использует вики-движок *Mediawiki*, ранее называвшийся также *Wikipedia*. Википедия, основанная в 2001 явилась по сути своей объединением идей использования wiki-технологии (1995) и накопления информации в стиле известного веб-сайта *Everything2* (1998-99).

Викизнание похож на Википедию, но более свободный и приспособленный для России проект (здесь собраны статьи по таким аспектам жизни в России, которые слабо или вообще неверно освещены в Википедии). Материалы, публикуемые на сайте www.wikiznanie.ru можно использовать в *wikipedia*, обратное же использование в общем случае невозможно.

Табл. . Сравнение особенностей энциклопедий Википедия и Викизнание.

Критерий	Викизнание	Русский раздел Википедии	Примечание
Лицензия	<i>BSD DPL</i>	<i>GNU FDL</i>	Лицензия <i>BSD DPL</i> содержит меньшее количество ограничений на распространение информации, что позволяет шире использовать накопленные в Викизнании материалы.
Возможность использования накопленных материалов в конкурирующем проекте, в других <i>GPL</i> и <i>BSD</i> проектах	Да	Нет (лицензия <i>GNU FDL</i> , по которой распространяются тексты Википедии, содержит требование, что производные произведения, полученные по ней, должны распространяться на условиях <i>GNU FDL</i>)	Следствие использованных лицензий (см. выше)
Количество статей	111888 (актуальное число)	Более 220000 (15.12.07) 75000 (май 2006), 95000 (июль 2006), 115000 (10 ноября 2006)	Английский раздел Википедии 1500000 статей на Английском (ноябрь 2006)
Принцип подачи материала	Множественность точек зрения	т.н. Нейтральная точка зрения	Множественность точек зрения позволяет в гораздо большей степени реализовать свободу слова и информации в рамках проекта - как для авторов, так и для посетителей
interwiki	Связь с другими русскоязычными проектами interwiki-ссылки на множество нерусскоязычных wiki-проектов	Связи с близкими статьями (на русском и других языках) в других проектах <i>Wikimedia</i> (вики-словарь, вики-цитаты и др.) interwiki-ссылки на множество нерусскоязычных wiki-проектов	Связь накапливаемых статей со статьями в других <i>wiki</i> -проектах
Реклама	Отключаемая, показывается только случайным посетителям проекта	Тексто-графический баннер сбора пожертвований	Реклама - единственный источник финансирования проекта Викизнание
Месторасположение сервера	Россия (Москва)	США	Сервер в Москве позволяет уменьшить зависимость от сбоев промежуточных каналов связи, абонентам российских Интернет-провайдеров, которые по-разному

		тарифицируют российский и зарубежный трафик, экономить деньги
--	--	---

Другие аналогичные проекты: Русскоязычные (Абсурдопедия - «Энциклопедия абсурда», Анархопедия - Работает по принципам анархии), Англоязычные (Энциклопедия Драматика, *Wikinfo*, *Scholarpedia*, *Digital Universe*, *Encarta*, *Everything2*, *Wiki*, «Вокруг света».

Викизнание (*WikiZnanie*) - проект по созданию большой, полной, современной, бесплатной, максимально свободно распространяемой гипертекстовой электронной энциклопедии, представляющей максимальный спектр возможных точек зрения на различные вопросы.

Веб-сайт проекта ВикиЗнание - использует *wiki*-технологии, которая позволяет любому посетителю принять участие в написании статей энциклопедии без регистрации - просто редактируя их текст в своем веб-браузере. Вики-технология также позволяет легко исправлять последствия вандализма. ВикиЗнание - открытая, свободная и бесплатная энциклопедия - использует открытую модель коллективной разработки текста.

Викизнание - свободный источник информации, это значит, что информация с проекта может использоваться где угодно. Поэтому в проекте может использоваться только информация полученная из столь же, или более свободных - свободная от «цепей» авторского права (ограничивающих распространение и использование информации). Это могут быть источники, находящиеся в общественном достоянии, или выпущенные под столь же свободной лицензией.

Примечание. Под использованием источников здесь понимается копирование без изменений или малыми изменениям авторского текста, изображений и прочих произведений. Использование фактических данных, не имеющих оригинальной авторской формы (числовые данные, факты) допустимо всегда.

В Википедии к источникам информации относятся: Федеральные законы, Старые словари и энциклопедии (Большая советская энциклопедия, 1-е издание целиком, 2-е издание до 24-го тома включительно (статьи от «А» до «Лесничество»), Последнее издание БСЭ не является свободным источником! (*Его использовать нельзя!*), Техническая энциклопедия, Литературная энциклопедия, бывшая энциклопедия Британика (на англ.), словари Даля, Ожегова, Ушакова, Брокгауза-Ефрона). Такие словари содержат большой объем исторической информации, которая не может устареть. Устаревшая информация также полезна, так как гораздо проще исправлять и модернизировать уже существующую статью, чем писать новую. Свободно распространяемые в сети рефераты являются открытыми источниками. Большой интерес представляют сайты *Distributed Proofreaders* - <http://www.pgdp.net/c/default.php> [Тематические сайты, разрешившие использование свободное распространение материала Фундаментальная электронная библиотека «Русская литература и фольклор», Три века Санкт-Петербурга.

Общая идея проекта Викизнание состоит в том, чтобы взять самые удачные решения проекта *Wikipedia*, отбросить неудачные, и создать более свободный (в смысле - имеющий меньше ограничений на распространение материалов и свободу слова) и приспособленный для русскоязычной аудитории проект. Отдельный смысл существования проекта Викизнание заключается в предоставлении пользователям сети Интернет свободы выбора источника информации и возможности озвучивания точек зрения, которые по тем или иным причинам не могут быть представлены в Википедии.

«Свободной энциклопедией» Википедия называется потому, что все её материалы распространяются на тех же принципах свободы информации и по той же лицензии, что и для свободного программного обеспечения. Но с точки зрения цензуры при написании статей, никакой свободы в Википедии нет. Цели Википедии конфликтуют с принципами свободы слова, оставляя авторам лишь возможность описывать значимые явления беспристрастно, без личного мнения, со ссылками на первичные источники и на литературном, научном языке. Правило нейтральной точки зрения - одно из главных правил написания статей в Википедии; оно требует от авторов беспристрастности повествования в статьях, и, вкупе с требованием ссылаться на источники и запретом оригинальных исследований, обеспечивает сохранение в Википедии только достоверных сведений. Википедия требует писать статьи в «научном стиле», но никакого определения научного стиля не даётся. Формальное использование правил Википедии может привести к ситуации, когда все статьи о естественных науках кем-то будут причислены к «ненейтральным» на том основании, что они описывают признанную академическим обществом, но отвергаемую некоторыми личностями теорию, игнорируя наличие других взглядов и мнений, при этом сообщество приверженцев альтернативного мнения может быть намного больше сторонников академической теории. С одной стороны, в Википедии запрещены так называемые оригинальные исследования, с другой стороны, Википедия защищает авторские права и поэтому запрещает цитировать источники, лицензия которых запрещает цитирование. Материалы из Интернета можно размещать в Википедии только в том случае, если вы являетесь их автором, или если автор дал разрешение на размещение их в Википедии на условиях лицензии *GFDL*. Чтобы поместить какую-либо информацию в Википедию нужно либо быть автором, т.е. публиковать собственные идеи, результаты исследований, либо нигде не опубликованных сведений, либо становиться автором Википедии, т.е. писать свой текст на основе источников,

которые имеют известные лицензии: ссылаться на эти источники, приводить цитаты и писать свой собственный текст, автором которого вы являетесь и авторские права на который вы передаете Википедии. Но автор - это тот, кто пишет свой собственный текст на основании своих мыслей, идей и т.п. У текста не может не быть автора, если вы помещаете куда-либо какой-либо текст и не являетесь его автором и этот текст не является цитатой, то тогда это называется плагиатом.

Борьба за чистоту относительного авторского права приводит к тому, что авторы Википедии вместо того, чтобы точно и строго процитировать материалы из источников, которые запрещено цитировать в соответствии с политикой лицензирования начинают редактировать материал, «пересказывать своими словами», и т.п. Иногда это получается удачно, иногда вносятся искажения, нелепицы, и т.п. - синдром «испорченного телефона». Запрет на использование источников, лицензия которых неизвестна приводит к запрету на использование большинства источников, перешедших в общественное достояние: сведения о том, что какой-либо источник перешёл в общественное достояние сами должны содержаться в каком-либо источнике. Лицензия которого должна быть известна. Вот, например, статья «Теорема Пифагора» в данный момент - не содержит ссылок на источники, из которых следовало бы, что приведенные в статье сведения являются общественным достоянием. В соответствии с критериями Википедии данный текст статьи должен бы быть удален как *copyvio*.

Правила Википедии гласят: Не нарушайте авторские права. Википедия - свободная энциклопедия, публикуемая в соответствии с «Лицензией Свободной Документации GNU» (*GNU Free Documentation License*). Размещение материалов, нарушающих авторское право, угрожает нашей цели построения подлинно свободной и доступной всем энциклопедии и может привести к юридическим проблемам. При этом борьба против нарушений авторского права оборачивается против самих авторов. Если автор разместил свой текст где-то в Интернете, то ему становится практически невозможно доказать что он - автор. Простого указания в обсуждении статьи недостаточно, авторы подвергаются остракизму со стороны администраторов и участников на основании правила ВП: *copyvio*. С другой стороны, авторы никак не защищены от компиляции текстов, которая стала общепринятой практикой. Кроме того, абсолютный запрет на подписи в статьях прямо нарушает неимущественные авторские права, которые действуют бессрочно и включают в себя право авторства и право на имя.

Приведём конкретные примеры источников информации, разрешённых или запрещённых к использованию.

Универсальные энциклопедии

Энциклопедии отмечены значками: *PD* - *public domain* (общественное достояние), *GNU* - *GNU FDL*, *BSD* - лицензия *BSD*, © - защищено авторским правом.

Английский, немецкий, французский, испанский, итальянский, португальский и другие разделы Википедии на популярных иностранных языках. Многие русскоговорящие участники пользуются украинским, белорусским, польским, сербским, хорватским и болгарским разделами. *GNU*

Большая советская энциклопедия. 3-е изд. Либо на Яндекс. Энциклопедии. ©

Брокгауз Ф. А., Ефрон И. А. Энциклопедический словарь (ЭСБЕ), 1890-1907, в 86 томах с илл. и доп. материалами - исторические статьи и биографии до сих пор не устарели. *PD*

Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона (МЭСБЕ), 1907-1909 - удобный поиск, всего 44197 статей. Лучше пользоваться 86-томным словарём. *PD*

Punto - Старые словари - четыре словаря: Мартыновский 1882, Михельсон 1887, Библейский словарь 1907, Мид. Словарь эзотерических терминов 1930. Всего около 60 000 статей. *PD*

Энциклопедия «Кругосвет»® - очень хорошие подробные и современные статьи. ©

Викизнание - свободная вики-энциклопедия. *BSD*

Рубрикон - большое количество энциклопедий под одной крышей. Часть информации в платном доступе. Авторское право - в зависимости от конкретного источника.

Глоссарий.Ру - Служба тематических толковых словарей.

Академик - Поиск по различным словарям и энциклопедиям.

Родственные проекты Википедии: Викисловарь (словарь и тезаурус), Викисклад (хранилище медиафайлов), Викиучебник (учебники и руководства) Викицитатник (коллекция цитат), Мета-вики (Вики о проектах Викимедиа), Викиновости, Викитека (оригинальные тексты), Викивиды (биологические виды), Викиверситет (обучение) и др.

3.3 Базы данных

В классической теории выделяют три основных типа баз данных: иерархические, сетевые и реляционные. В последние годы, с широким распространением объектно-ориентированных языков программирования, стали активно развиваться объектные базы данных.

Первыми появились иерархические базы данных. Информация в иерархической базе организована по принципу древовидной структуры, в виде отношений предок/потомок. Каждая запись может иметь не более одной родительской записи и несколько подчиненных. Связи записей реализуются в виде физических

указателей с одной записи на другую. Основной недостаток иерархической структуры базы данных - невозможность реализовать отношения «многие ко многим», а также ситуации, когда запись имеет несколько предков.

Настоящий прорыв в развитии баз данных произошел тогда, когда возросшая мощность компьютеров позволила в полной мере реализовать реляционную модель данных. Теория реляционных баз данных была разработана доктором Коддом в начале 70-х годов 20 века. В реляционных базах данные хранятся в виде таблиц, состоящих из строк и столбцов. Столбцы таблиц реляционной базы могут содержать скалярные данные фиксированного типа - числа, строки, даты... Таблицы в реляционной базе данных могут быть связаны отношениями «один к одному» или «один ко многим». Иерархическая и сетевая структуры сменились реляционными базами. *MS SQL Server* и *MS Access*, *InterBase* и *FoxPro*, *PostgreSQL* и *Paradox* - построены на реляционной модели данных. Реляционной базой является и *MySQL*. Объектно-ориентированные базы данных (ООБД) пока не имеют широкого распространения, но, видимо, будут бурно развиваться. По этому пути, в частности, развивается *Oracle*. Бывшая ранее чисто реляционной базой, *Oracle* начиная с 8 версии поддерживает возможность хранения и обработки объектов.

Система управления базами данных (СУБД) - специализированная программа (чаще комплекс программ), предназначенная для организации и ведения базы данных. Для создания и управления информационной системой СУБД необходима в той же степени, как для разработки программы на алгоритмическом языке необходим транслятор.

Для предоставления посетителям *Web* -страниц динамической информации используются различные базы данных. Перечислим самые популярные в *Web*.

Oracle – крупнейшая фирма-разработчик баз данных для *Windows NT* и *UNIX*. *Oracle* создала собственный набор инструментов (в основном это *PL/SQL* в сочетании с *Oracle Web Agent*). Эти средства в комплексе с *Web* -сервером *Oracle* облегчают создание *Web* -страниц с использованием информации, которая хранится в базе данных. Процедура *PL/SQL* позволяет ускорить запрос к базе данных. СУБД *Oracle* подходит для крупного предприятия, где требуется обрабатывать большое количество информации.

Sybase System 11 - база данных, в которой имеются средства для создания динамических *Web* -страниц. *Sybase* в сочетании с *Net Impact Studio* (продуктом фирмы *Power soft*) можно использовать создания богатого набора инструментов, с помощью которых можно создавать документы динамического *HTML*. *Net Impact Studio* состоит из браузера/редактора *HTML* и персонального *Web*-сервера. Эти средства позволяют создать *Web* - страницы с использованием технологии *WYSIWYG*. Кроме того, в комплект *Net Impact Studio* входит база данных *Web*, поддержка *JavaScript* и поддержка подключения к серверам приложений.

Net Impact используется в сочетании с *Power Builder* – приложением для создания модулей-приложений и компонентов *ActivX*. Его также можно использовать как дополнение к *Optima++*, которая предназначена для создания модулей и облегчает создание апплетов *Java*. Кроме того *Sybase* можно использовать с *Web. sql* для создания приложений *CGI* и программного интерфейса *NSAPI* (*Netscape Server Application Programming Interface*), которые обращаются к серверу базы данных *Sybase* на языке *Perl*. *Sybase* подходит для систем *Windows NT* и *UNIX*.

Microsoft SQL Фирма *Microsoft* выпустила собственную версию сервера базы данных *SQL* в качестве составной части пакета *Windows NT Back Office Suite*. *Microsoft* конкурирует в этой области с *Oracle* и *Sybase*. Сервер *Microsoft* вместе с *SQL Server Internet Connector* позволяют создать неограниченный доступ к серверу из *Web*.

Microsoft Access – система управления реляционными базами данных. Которая входит в комплект *Microsoft Office*. *Microsoft Access* можно использовать для создания документов *HTML*., основанных на информации, которая хранится в базе данных *Access* с помощью *Microsoft, Internet Assistant* или *Microsoft, Active Server Pages (ASP)*.

Microsoft, Internet Assistant – надстройка, предоставляемая бесплатно пользователям *Access*. Использование технологий *ASP* требует наличия *MS Information Server* с установленным *ASP*. База данных *Microsoft Access* может поддерживать элементы управления *ActivX*, что делает *Access* ещё более мощным средством при использовании вместе с *Microsoft Internet Explorer*.

Приведём примеры некоторых информационных баз Интернета.

Классификаторы, терминологические базы, онтологии и другие структурные информационные механизмы

Онтология химии - *IUPAC Gold Book - IUPAC Compendium of Chemical Terminology*. Углеводороды в визуальном представлении: *Hydrocarbons//IUPAC*. Для патентов разработана МКИ, Для болезней - МКБ, Для лекарств - АТСС

Онтология - раздел философии, изучающий бытие. Онтология (в информатике) - попытка всеобъемлющей и детальной формализации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы. Схема состоит из

иерархической структуры данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила, принятые в этой области. Онтологии применяются в искусственном интеллекте, семантической паутине, (*SemanticWeb*) и технологии программирования как форма представления знаний о реальном мире или его части. Специализированные (предметно-ориентированные) онтологии (онтологии предметных областей-ПрО) - это представление какой-либо области знаний или части реального мира. В такой онтологии содержатся специальные для этой области значения терминов. К примеру, слово «поле» в сельском хозяйстве означает участок земли, в физике - один из видов материи, в математике - особую структуру. Общие онтологии используются для представления понятий, общих для большого числа областей. Такие онтологии содержат базовый набор терминов, глоссарий или тезаурус, используемый для описания терминов предметных областей. Если использующая специализированные онтологии система развивается, то может потребоваться их объединение. Подобные онтологии часто несовместимы друг с другом, хотя могут представлять близкие области. Разница может появляться из-за особенностей местной культуры, идеологии и т. п., или вследствие использования другого языка описания.

Наука Соросовский образовательный журнал - обзорные статьи высокого уровня по естественным наукам (Биология, Химия, Науки о Земле, Физика, Математика)

Математика: Знаменитый mathworld by Eric Weisstein (англ.)

Физика: Review of particle properties - Сводные таблицы свойств элементарных частиц, подготавливаемые коллаборацией Particle Data Group. National Nuclear Data Center - Свойства изотопов и другие данные, относящиеся к ядерной физике.

Астрономия и космонавтика Официальный сайт NASA Российская астрономическая сеть Космическая энциклопедия А. Железнякова Пилотируемая космонавтика в цифрах и фактах Библиотека и энциклопедия космонавтики Метеоритная коллекция РАН

Химия, фармакология Кембриджская база данных хим. веществ - можно узнать формулу, химические и физические свойства практически всех известных хим. веществ. Авторитетнейший сайт со всей последней информацией о химических элементах. Все самые авторитетные справочники и энциклопедии по химии, в том числе - 5-томная Химическая энциклопедия. Все книги в формате *djvu*. Огромная коллекция химических справочников на сайте химфака Иркутского университета. Государственный Реестр Лекарственных Средств.

Кристаллография и минералогия Сайт по кристаллографии ГГФ НГУ. Минералогическая база данных.

Биология Биомедицина *Braininfo* - информация о структурах мозга человека (и аналогов у некоторых млекопитающих). *PubMed* - веб-доступ к базе данных *MEDLINE*. Таксономические БД *Classification of regnum Animalia* - описание царства животные на сайте Зоологического института РАН. *Tree of Life web project* - таксономические древа. Позвоночные животные России//Институт Проблем Экологии и Эволюции имени А. Н. Северцова - Информационная поисковая система по биоразнообразию позвоночных животных России. *FishBase//WorldFish Center* - БД по рыбам мира, *National Park Service U.S.* - PD

География и демография: Академическое издание Атласа мира (на русском языке). - М.: Издательство: Роскартография, 1999. Атлас РФ О странах *World gazetteer* - страны и регионы Информация о всех странах мира на сайте МИД России *CIA Factbook* - Книга фактов ЦРУ. Территориальное деление стран мира. Информация о странах на сайте Библиотеки Конгресс США Гербы стран мира (нем). Всемирная география Мир в цифрах - по-немецки - интерфейс к книге фактов ЦРУ. Географические карты. Этимология названий стран. Геральдическая энциклопедия Олега Козлова. Флаги, гербы. Лидеры стран. О городах. Список всех населённых пунктов России по состоянию на 2002. Численность населения России во всех населённых пунктах. Численность населения городов Украины. Мой город. Официальный сайт российского центра флаговедения и геральдики. Гербы городов РФ. Справочник телефонных кодов городов и стран. Поиск географических координат и названий. Поиск географических координат и названий. Определение расстояний между городами по автодорогам. База данных «Справочник административно-территориального деления - каталог Вся Россия» Справочник почтовых индексов России.

Демография Итоги Всероссийской переписи населения 2002 года. Бюро переписи населения США

Этнография Народы России (справочник)

Языки Каталог языков народов мира (англ.)

История Правители Мира. Хронологическо-генеалогические таблицы по всемирной истории в 4 тт. Автор-составитель В. В. Эрлихман. Москва - 2002 Даты жизни и правлений государственных деятелей некоторых стран

«Всемирный исторический проект» Энциклопедический словарь. Изд. Брокгауз Ф. А., Ефрон И.А. Архив Буковского Средневековые источники Востока и Запада. С.М.Соловьев «История России с древнейших времён». В. О. Ключевский. «Курс русской истории». Н. Нарочницкая «Россия и русские в мировой истории». Милов Л.В. «Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса» - русская экономическая история XV-XVIII вв.

Лингвистика: Этимологический словарь русского языка Фасмера, а также словарь Ожегова Учебник современного русского языка euskara exotica, экзотические языки

Философия: Блинников Л. В. Краткий словарь философских персоналий. Философский словарь на сайте Народ.ру Философский энциклопедический словарь на Рубиконе История философии.: Философский словарь/И. Т. Фролов, 1981. Постмодернизм: Энциклопедия/А.А.Грицанов. Словарь по логике, 1997. Ильин И. П. Постмодернизм. Словарь терминов - М.: 2001.

Искусство, культура Кино России СТВ Актёры советского и российского кино *Internet Movie Database*. Единый художественный рейтинг. Литературная энциклопедия 1929-1939 Словарь литературных терминов (1925). Российская анимация в буквах и фигурах. Каталог фильмов Мосфильма <http://tm.guzei.com/>

Мифология Аполлодор. Мифологическая библиотека. Указатель собственных имён, географических названий и этнических групп

Религия Православная энциклопедия Официальный сайт Русской Православной Церкви Православный календарь. *The Catholic Encyclopaedia* Официальный сайт Ватикана. Поиск по Библии на Яндексe. Иерархия православная

Политика Официальный сайт Президента России Эталонный банк правовых актов высших органов государственной власти РФ

Спорт Олимпийский комитет России (ОКР)

Статистика Госкомстат России. Отделение статистики ООН. Каталог ссылок на национальные и международные статистические службы. Университетская информационная система России. Информация по выборам. Стенограммы заседаний ГД. Территориальное устройство России и СССР

Техника <http://gaz69.ru/> Сайт клуба любителей ГАЗ-69. Всё о стрелковом оружии. База по высотным строениям и небоскрёбам.

Биографии <http://peoples.ru/> Люди (*People's History*). <http://warheroes.ru/> Герои СССР, Герои России <http://rulex.ru/xPol/index.htm> Русский биографический словарь <http://whosaliveandwhosdead.com/> (англ.)

3.4 Электронные библиотеки

Электронная библиотека - упорядоченная коллекция разнородных электронных документов, снабженных средствами навигации и поиска. Может быть веб-сайтом, где постепенно накапливаются различные тексты (чаще литературные, но также и любые другие, вплоть до компьютерных программ) и медиа-файлы, каждый из которых самодостаточен и в любой момент может быть востребован читателем.

Электронные библиотеки могут быть универсальными, стремящимися к наиболее широкому выбору материала (как Библиотека Максима Мошкова), и более специализированными, как Фундаментальная электронная библиотека или проект Сетевая Словесность. Особое место в ряду электронных библиотек занимают интернет-библиотеки научно-образовательной тематики (например, Электронная библиотека *IQlib*), в которых собраны издания, необходимые для осуществления образовательного процесса. Электронная библиотека не подразделяется на выпуски и обновляется перманентно по мере появления новых материалов. В отличие от сайта со свободной публикацией, электронная библиотека подбирается координатором проекта по своему усмотрению и не предусматривает создания вокруг публикуемых текстов коммуникативной среды. В отдельных Интернет-проектах есть гибридные формы: так, открытие в электронной библиотеке Сетевая Словесность гостевых книг для каждого публикуемого автора вносит в проект элемент формирования коммуникативной среды, состоящей из авторов и читателей, что для электронных библиотек вообще нехарактерно.

Форматы размещаемых в электронных библиотеках произведений можно разделить на две категории - форматы, предназначенные для чтения текста он-лайн и форматы, предназначенные для скачивания на компьютер читателя. Самый популярный формат первой категории - *HTML*, однако библиотека Мошкова, например, выкладывает тексты в формате *TXT*. Форматы для скачивания - заархивированный *TXT*; *RTF* и собственный двоичный формат файлов *Microsoft Word 97-2000*; *Mobipocket.PRC*. Популярен формат *FictionBook*, созданный специально для хранения литературных произведений. Первая электронная библиотека – Проект «Гуттенберг» требует в файлах для скачивания использовать текстовый формат в архивах *ZIP* для того, чтобы тексты можно было читать практически на любых устройствах, и чтобы они не были потеряны в случае исчезновения программ для обработки используемых форматов. Книги, изобилующие математическими формулами, и сложными схемами, после сканирования переводить в текстовый формат намного сложнее, поэтому часто их хранят в графическом формате, обычно *DjVu* и *PDF*. Тогда как *PDF* при таком применении представляет собой просто объединенный в один файл набор изображений *TIFF*, *DjVu* использует специальный алгоритм, позволяющий получать в несколько раз меньшие файлы даже при сжатии без потерь. Наоборот, если существует электронный оригинал книги - с

редактируемым текстом и векторными изображениями, то именно *PDF* будет лучшим выбором.

Многие электронные библиотеки публикуют литературные произведения без предварительного согласия авторов, и хотя в некоторых из них по первому требованию автора его тексты снимаются с сайта, де-юре они нарушают законы об авторском праве.

Упомянем некоторые **международные Интернет-библиотеки**

Google Book Search - проект *Google*, содержит значительное количество полных текстов книг, в том числе и русском языке, просмотр части книг (примерно от 1900 до 1923) исходя из юридических ограничений возможна только жителям США. Европейская электронная библиотека «*Europeana*» - содержит оцифрованные объекты культурного наследия Европы: книги, картины, фотографии, аудиозаписи. Материалы распространяются с лицензией для некоммерческого использования, либо, находящиеся в общественном достоянии (до 2010 общее количество планируется довести до 6 -10 млн). *openlibrary.org* - проект некоммерческой организации *Internet Archive* по оцифровке книг находящихся в общественном достоянии (в рамках *Open Content Alliance*) «Открытая библиотека», содержит сканы 1064822 публикаций (2008) доступных для просмотра и скачивания, кроме того, посетителям сайта, из фондов Бостонской общественной библиотеки предлагается выбрать желаемую книгу для бесплатной оцифровки (*Scan-On-Demand*). Содержит большое количество книг на русском языке XIX-XX вв. *Gallica* - французский архив, ставит своей целью оцифровать все содержимое Национальной библиотеки Франции - более 12 млн книг и манускриптов, 500 тыс. периодических изданий, 800 тыс. медалей и монет, 650 тыс. карт и изображений. В рамках проекта выложено в интернет около 80 тыс. работ и 70 тыс. изображений, идёт работа по оцифровке архива французских газет XIX в. Проект «Гутенберг» - первая в мире электронная библиотека. Содержит 200000 текстов, аудиокниг, нотные записи, *MIDI* и иногда видеороликов, в основном, находящихся в общественном достоянии в США. *LibriVox* - проект по созданию аудиокниг в общественном достоянии, на основе текстов, находящихся в ОД в США - в основном, из проекта «Гутенберг». Всемирная цифровая библиотека (*World Digital Library*) – проект Библиотеки Конгресса. В 2007 к проекту присоединилась Российская национальная библиотека. Центр оцифровки Гёттингена - центр в Германии осуществляет оцифровку фондов университетской библиотеки Гёттингена, помимо литературы на русском языке содержит издания на русском в области математики (в рамках проекта Русская электронная математическая библиотека).

Русскоязычные Интернет-библиотеки: Библиотека Мошкова - старейшая и одна из крупнейших русскоязычных сетевых библиотек. Содержит литературные произведения всех жанров, а также нехудожественную литературу и музыку. Библиотека «Альдебаран» и *ImWerden*

Тематические архивы: *Archive.org* - архив содержащий значительное количество текстовых, видео и аудиоматериалов находящихся в общественном достоянии или защищенных лицензией *Creative Commons*. *ArXiv.org* - крупнейший свободный архив электронных препринтов и научных статей по физике, математике, астрономии, информатике и биологии. *Deja's USENET archive* - двадцатилетний архив *USENET*, приобретённый *Google* у *Deja* и интегрированный в *Google Groups*. *ANNO* - архив австрийской периодики XVII-XX вв., содержит в открытом доступе 4 млн оцифрованных листа.

3.5 Электронные книги

Электронная книга (*e-book, e-text*) – версия книги в электронном (цифровом) виде. Данный термин применяется как для произведений, представленных в цифровой форме, так и в отношении устройств, используемых для их прочтения.

В англоязычных странах для обозначения цифровых версий книг, для хранения которых используются открытые форматы, основанные на простых текстовых файлах, используется также термин *e-text* (*электронный текст*). Электронными текстами называются и учебные электронные пособия, в состав которых, помимо текста, включаются растровые изображения, примеры данных, упражнения, специально написанные комментарии и ответы на возможные вопросы. Электронные книги иногда кодируются издателем книги для ограничения круга пользования, в то время как электронные тексты распространяются свободно.

Электронные книги распространяются в файлах различных форматов: простой текст (*plain text*); текстовые с оформлением - *HTML*, открытый формат электронных книг (*OPF FlipBook*), *OpenDocument*, *SGML*, *XML*, *FictionBook (.fb2)*, *TeX*, *PDF*, *HTMLHelp (.chm)*, *Microsoft (.lit)*, *eReader*, *PostScript (.ps, .eps)*, *ExeBook*, *Mobipocket (.prc)* и др.; графические растровые - *TIFF*, *JPEG*, *DjVu* и т. п.; мультимедиа книги - *SWF*, *EXE*, мультимедиа книга и т.п.; Файлы некоторых форматов (*OpenDocument*, *PostScript*, *PDF*, *MS Word DOC* и др.) помимо текста содержат и растровые или векторные изображения. Файлы современных электронных книг мультимедиа книга помимо текста содержат несколько каналов восприятия: звуковой-музыкальный, изобразительно-динамический (фотографии и галереи) и интерактивно-ментальный.

Преимущества электронных книг: малый объём (на компьютере можно хранить десятки и сотни тысяч книг); возможность полнотекстового поиска (если текст книги распознан или набран); возможность быстрого и простого изменения гарнитуры и кегля шрифта; возможность прослушать (*text-to-speech*, аудиокнига) текст книги; возможность чтения книг при низком уровне освещённости; низкая стоимость распространения. Недостатки электронных книг: несовместимость с новым аппаратным или программным обеспечением (во избежание этого используют простые или стандартизированные открытые форматы); экраны некоторых устройств быстро переутомляют глаза; разрешение экранов большинства устройств на сегодня таково, что «качество изображения» на них пока значительно хуже, чем у бумажного аналога; время работы переносного устройства от батареи ограничено; значительные неудобства вызывает перевод в такой формат бумажных изданий с большим количеством крупных иллюстраций (например, работы по истории искусства, фотоальбомы, сборники карт и пр.).

Контроль за соблюдением лицензии и распространением произведения отчасти сложнее, чем у бумажных копий, однако легче проверять целостность оригинала с помощью контрольных сумм и сравнивать различные версии файлов.

3.6 Электронные журналы

Электронный журнал - периодическое рецензируемое издание, электронный аналог печатного журнала, доступный для просмотра на компьютере. Распространяется через Интернет или на любых носителях информации (магнитных, оптических).

Издание электронного журнала представлено в виде одного или нескольких файлов, где содержатся статьи, отражающие тематику журнала. Доступ к статьям производится по оглавлению с помощью системы ссылок. В отличие от печатных журналов, электронный журнал может содержать в себе интерактивные элементы (игры, тесты и т. д.). Сейчас электронные журналы играют всё более важную роль в жизни общества как средства для получения необходимой информации. Подписка (*subscription*, *RSS*) на новые статьи - дополнительная функция современных электронных журналов. Другая дополнительная функция электронных журналов (например, *J. USC*) - наличие интернет-страницы, параллельной статье, на которой читатели обсуждают и делятся мнениями о данной публикации.

Под электронными журналами понимается периодика, которая содержит полные версии публикаций, а не только сайты, обеспечивающие доступ к содержанию и резюме статей. Электронные журналы делятся на три группы: параллельные электронные журналы - электронные версии традиционных печатных изданий. Печатная и электронная версии - идентичны; интегрированные электронные журналы - издаются в двух видах; оригинальные электронные журналы - издаются только в электронном виде. Сходными по назначению с электронными журналами - своевременное информирование о новых научных статьях подписчиков-учёных и обеспечение доступа к текстам - являются архивы электронных препринтов научных статей, например *ArXiv.org*. Различие в том, что в электронных журналах статьи проходят рецензирование, что обычно положительно сказывается на их качестве. *eJournal.ru* - сервис, с помощью которого можно быстро создать электронный журнал и начать его распространение. Русскоязычные журналы экономической и управленческой тематики: Электронный научный журнал «Управление экономическими системами», Электронный научный журнал «Региональная экономика и управление (адрес: <http://region.mcnip.ru/>) и др.

3.7 Интернет-издания

Интернет-издание – Интернет-сайт, ставящий своей задачей выполнять функцию средства массовой информации (СМИ) в интернете. Как и печатные издания, интернет издания руководствуются принципами журналистики.

Интернет-изданием (интернет-СМИ) может считаться любой сайт, содержащий регулярно обновляемые материалы репортажного и/или публицистического характера. Традиционные печатные и эфирные СМИ обычно имеют свои интернет-страницы, иногда полностью повторяющие содержание оффлайновых выпусков, иногда содержащие только анонсы статей и (или) тексты прошлых номеров, иногда имеющие дополнительный контент. По жанрам интернет-издания не отличаются от оффлайновых - есть новостные сайты (например *Newsland*), литературные, научно-популярные, детские, женские и т. п. издания. Есть интернет-издания, которые выпускаются периодически (раз в день, неделю или месяц), другие же (обычно новостные сайты) обновляются постоянно, по мере появления новых материалов. Известные новостные интернет-издания Новостной сайт, Категория: Интернет-СМИ, Лента.ру, *NEWSru*, Взгляд Ежедневный журнал *REGNUM*, Украинская правда и др.

Рано или поздно, каждый пользователь Всемирной паутины сталкивается с проблемой поиска информации. Между тем информационное пространство сети Интернет огромно и растёт с каждым днем. Поэтому поиск информации может занять от нескольких минут до нескольких часов – все зависит от умения искать и находить нужные данные в Интернете. Поиску информации в Интернете помогают всевозможные поисковые машины, каталоги и базы знаний. При этом для разных задач поиска информации следует использовать различные способы.

В данной лекции мы будем говорить о поиске в Интернете научной информации (математика, физика, химия), причём нас будет интересовать в основном ядерная сфера. Сначала мы обсудим способы датамайнинга, затем – источники научной информации в Интернете и закончим анализом информации образовательной направленности.

В предыдущей лекции мы уже довольно много говорили об WWW, но сейчас снова вернёмся к ней, главным образом, с точки зрения поиска информации.

Всемирная паутина (World Wide Web) — глобальное информационное пространство, основанное на физической инфраструктуре Интернета и протоколе передачи данных HTTP. Всемирная паутина вызвала настоящую революцию в информационных технологиях и бум в развитии Интернета. Часто, говоря об Интернете, имеют в виду именно Всемирную паутину. Для обозначения Всемирной паутины также используют слово веб (*web*) и аббревиатуру «WWW».

Всемирную паутину образуют миллионы *веб-серверов* сети Интернет, расположенные по всему миру. Веб-сервер - программа, запускаемая на подключённом к сети компьютере. В простейшем виде такая программа получает по сети HTTP-запрос на определённый ресурс, находит соответствующий файл на локальном жёстком диске и отправляет его по сети запросившему компьютеру. Более сложные веб-серверы способны динамически формировать ресурсы в ответ на HTTP-запрос. Для просмотра информации, полученной от веб-сервера, на клиентском компьютере применяется специальная программа-клиент - *веб-браузер (web-browser)*. Основная функция веб-браузера - отображение *гипертекста*.

Всемирная паутина неразрывно связана с понятиями гипертекста. Гипертекст (*Hypertext*) – это документ или система документов с перекрестными ссылками (*гиперссылками*). По такому документу можно перемещаться не последовательно, а, активируя гиперссылки, переходить по ним к связанным со ссылками текстам или файлам. Для создания, хранения и отображения гипертекста используется язык *HTML (HyperText Markup Language)*, язык *разметки* гипертекста. Работа по разметке гипертекста называется *вёрсткой*, специалисты по разметке называются *веб-мастерами*. HTML-файл является самым распространённым ресурсом Всемирной паутины. HTML-файл доступный веб-серверу, называют «*веб-страницей*». Набор связанных тематикой, дизайном или владельцем веб-страниц образует *веб-сайт*. Гиперссылки помогают пользователям Всемирной паутины легко перемещаться между страницами одного сайта и между различными сайтами. Информация в вебе может отображаться как пассивно (то есть пользователь может только считывать её), так и активно — тогда пользователь может добавлять информацию и редактировать её. К способам активного отображения информации во Всемирной паутине относятся: гостевые книги, форумы, чаты, блоги, wiki-проекты, системы управления контентом.

Изобретателями всемирной паутины являются *Сэр Тимоти Джон Бернерс-Ли* (род. 8.06.1955) и, в меньшей степени, *Роберт Кайо*. Тим Бернерс-Ли является автором технологий *HTTP, URI/URL и HTML*. В 1980 он работал в Европейском совете по ядерным исследованиям (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN) консультантом по программному обеспечению. Именно там, в Женеве (Швейцария), он для собственных нужд написал программу «Энквайр», которая и заложила концептуальную основу для Всемирной паутины. В 1989, работая в CERN над внутренней сетью организации, Тим Бернерс-Ли предложил глобальный гипертекстовый проект, теперь известный как Всемирная паутина. В рамках проекта Бернерс-Ли написал первый в мире веб-сервер и первый в мире гипертекстовый веб-браузер, называвшийся «WorldWideWeb». Первый в мире веб-сайт Бернерс-Ли создал по адресу <http://info.cern.ch/>, теперь сайт хранится в архиве. Этот сайт появился в Интернете 6.08.1991. На этом сайте описывалось, что такое Всемирная паутина, как установить веб-сервер, как использовать браузер. Этот сайт также являлся первым в мире интернет-каталогом, потому что позже Тим Бернерс-Ли



Рис. 1. Логотип Консорциума Всемирной паутины.

С 1994 года основную работу по развитию Всемирной паутины взял на себя *Консорциум Всемирной паутины*, основанный и до сих пор возглавляемый Тимом Бернерсом-Ли.

1. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРНЕТА

У Интернета нет собственника, так как он является совокупностью сетей, которые имеют различную географическую принадлежность. Интернет нельзя выключить целиком, поскольку маршрутизаторы сетей не имеют единого внешнего управления. Интернет стал достоянием всего человечества. В Интернете имеется много полезных и не очень свойств, эксплуатируемых заинтересованными лицами. Интернет, прежде всего, средство открытого хранения и распространения информации. По маршруту транспортировки незашифрованная информация может быть перехвачена и прочитана. Интернет может связать каждый компьютер с любым другим, подключённым к Сети. Сайты в Интернете распространяют информацию по телефонному принципу: индивидуально, по инициативе читателя. Спам-сервера и «зомби-сети» распространяют информацию по инициативе отправителя и забивают почтовые ящики пользователей электронной почты спамом точно так же, как забивают реальные почтовые ящики распространители рекламных брошюр.

Распространение информации в Интернете имеет такую же природу, что и слухи в социальной среде. Если к информации есть большой интерес, она распространяется широко и быстро, нет интереса - нет распространения. Чтение информации, полученной из Интернета или любой другой сети ЭВМ, относится к непубличному воспроизведению произведения. За распространение информации в Интернете, если это государственная тайна, клевета, другие запрещённые законом к распространению сведения, вполне реальна юридическая ответственность по законам того места, откуда информация введена.

Интернет предоставляет широчайшие технические возможности для общения. Кроме того, в Интернете сравнительно легко найти людей со схожими интересами и взглядами на мир. Вдобавок, общение в Сети начать психологически проще, чем при личной встрече. Эти причины обуславливают создание и активное развитие веб-сообществ - групп людей, имеющих общие интересы и общающихся преимущественно через Интернет. Подобные интернет-сообщества начинают играть ощутимую роль в жизни всего общества.

С возрастаньем популярности Интернета проявились и негативные аспекты его применения. В частности, некоторые люди настолько увлекаются виртуальным пространством, что начинают предпочитать Интернет реальности, проводя за компьютером до 18 часов в день. Подобную интернет-зависимость многие считают сходной с химической зависимостью вроде курения или наркомании.

Троллинг – психологическое и социальное явление, замеченное в Интернет в 1990-х и мешающее нормальному общению в Сети. Интернет-троллями или просто троллями (*troll*) во Всемирной сети называют людей, которые намеренно публикуют провокационные статьи и сообщения (в форумах, в группах новостей *Usenet*, в вики-проектах), призванные вызвать конфликты между участниками, флейм, оскорбления, войну правок и так далее. Сами подобные статьи и сообщения также иногда называют троллями. Процесс написания таких сообщений и называется троллингом. В настоящее время любой популярный форум, группа новостей и вики-проект сталкивается с троллями и троллингом. **Хакер** (*hack*) - особый тип компьютерного специалиста. Иногда этот термин применяют для обозначения специалистов вообще - в том контексте, что они обладают детальными знаниями в каких-либо вопросах, или имеют достаточно нестандартное и конструктивное мышление. Теперь этим термином называют всех сетевых взломщиков, создателей компьютерных вирусов и других компьютерных преступников, таких как кардеры, крэкеры, скрипт-кидди. Многие компьютерные взломщики могут называться хакерами, потому как действительно соответствуют вышеперечисленному определению слова «хакер». Конечно, далеко не все компьютерные взломщики могут называть себя хакерами.

Во многих странах существуют серьёзные ограничения на функционирование сети, т. е. на государственном уровне осуществляется запрет на доступ к отдельным сайтам (СМИ, аналитическим, порнографическим) или всей сети. Поскольку в Интернете присутствуют информационные ресурсы, которые бывают неудобны для некоторых правительств, то последние пытаются декларировать Интернет (а это информационная среда, как и телефонная сеть, или просто бумага) как средство массовой информации, со всеми вытекающими ограничениями. Но встречается и государственная монополия на само подключение к сети Интернет.

Поскольку интернет всегда развивался стихийно и только на этапе превращения его в Интернет (глобальную сеть) государства стали проявлять всё возрастающий интерес к его функционированию, возможности цензуры ограничены, так как сейчас уже ни одно государство в мире не решится полностью отключить внутренние сети от внешних. В то же время многие информационные ресурсы официально подвергают цензуре публикуемую ими информацию в зависимости от проводимой политики и собственных внутренних правил. Это не противоречит демократическим принципам свободы слова. От нежелательного контента можно защититься установкой фильтров на компьютере пользователя (самоцензура). Самый эффективный метод цензуры в Интернете - это работа с провайдерами. Можно ввести список адресов, которые будут недоступны пользователям.

Интернет, как таковой, бесплатен и не имеет собственника. Но у многих компонентов Интернета собственники есть и эта собственность охраняется законодательством. Сначала система доменных имён являлась всего лишь более удобной, легче запоминаемой формой адресации. С развитием системы *WWW* доменные имена приобрели существенную ценность. Как и любое имущество, они стали нуждаться в защите со стороны закона. В настоящее время доменное имя рассматривается как средство индивидуализации и объект интеллектуальной собственности. Также оно может быть объектом сделок и входить в состав нематериальных активов предприятия. В России доменное имя упоминается в Гражданском кодексе.

Регистрация доменного имени второго уровня в тематических доменных зонах доступна для организации или частного лица независимо от географического положения. Юридического оформления владения не требуется, требуется только выбрать подходящее доменное имя из числа незанятых и перечислить деньги. Одна из организаций, осуществляющих регистрацию имен в этих доменных зонах – *Network Solution* (<http://www.netsol.com>). Регистрация доменных имен второго уровня в зонах *.RU* и *.SU* производится организацией *RU-CENTER* (<http://www.nic.ru>). При регистрации требуется юридическое оформление договорных отношений.

В связи с коммерциализацией Интернета и широким распространением сетевых вирусов, в последнее время почтовые сервера приходится подкреплять такими служебными программами как *антивирус* и *антиспам*, для того чтобы фильтровать входящую корреспонденцию, не допуская до конечного пользователя вредоносные послания и письма, имеющие характер массовой рекламной рассылки. В сети Интернет принято, что *платным* для абонента является *входящий трафик*, а исходящий трафик бесплатен. Это ситуация наоборот по сравнению с сотовой связью, в которой «все входящие бесплатны».

Спам (*spam*) — нежелательная корреспонденция рекламного или иного характера, массово рассылаемая людям, не выразившим желание её получать. Термин «спам» стал использоваться по отношению к электронным сообщениям примерно с 1993 года, когда рекламные компании начали публиковать в группах новостей, дискуссионных листах, гостевых книгах, сообщения, не имеющие отношения к заданной тематике, или сообщения, являющиеся прямой рекламой.

История термина восходит к английскому комедийному телесериалу 70-х годов XX века «Летающий цирк Монти Пайтона». В одной из сценок фильма действие происходило в маленьком ресторанчике. Всем посетителям там предлагали меню, содержащее чрезмерное количество консервированной ветчины «спэм» (*spam* - от *Hormel's Spiced Ham*), что-то вроде: горошек и спэм с картофелем и спэмом, спэм и салат и спэм и т. д. Хор викингов в рогатых шлемах начинал петь рекламные песни «Спэм! Спэм! Спэм! Любимый спэм!» и дальше в таком же духе. В общем, спэма в этом месте было слишком много. Так за словом «спам» закрепилось новое значение, позднее перешедшее в компьютерную терминологию для обозначения назойливых рекламных рассылок.

До недавнего времени не было никаких законов, которые запрещали бы или ограничивали спамерскую деятельность. Сейчас делаются попытки такие законы разработать, но это довольно трудно сделать. Сложно определить в законе, какая рассылка является законной, а какая нет. Хуже всего, что компания (или лицо), рассылающая спам, может находиться в другой стране. Для того, чтобы такие законы были эффективными, необходимо выработать согласованное законодательство, которое действовало бы в большинстве стран. В США, где такой закон уже принят, делаются попытки привлечь спамеров к суду, иногда успешно.

С помощью спама часто рекламируют продукцию, о которой нельзя сообщить другими способами, например порнографию, лекарственные средства с ограничениями по обороту, ворованную информацию (базы данных), контрафактное программное обеспечение. Иногда спам используется для того, чтобы выманить деньги у получателя письма. Такое письмо содержит сообщение о том, что получатель письма может получить каким-либо образом большую сумму денег, а отправитель может ему в этом помочь. Затем отправитель письма просит перевести ему немного денег под предлогом, например, оформления документов или открытия счета. Выманивание этой суммы и является целью мошенников.

«Фишинг» (*phishing* - рыбалка) - способ мошенничества с помощью спама. Он представляет собой попытку спамеров выманить у получателя письма номера его кредитных карточек или пароли доступа к системам онлайн-платежей. Такое письмо обычно маскируется под официальное сообщение от администрации банка.

Другие виды спама: рассылка писем религиозного содержания; массовая рассылка для вывода почтовой системы из строя; массовая рассылка от имени другого лица, для того чтобы вызвать к нему негативное отношение; массовая рассылка писем, содержащих компьютерные вирусы (для их начального распространения); рассылка писем, содержащих душещипательную историю (как правило, о больном, либо

пострадавшем в результате несчастного случая ребёнке) с информацией о том, что за каждую пересылку письма некий интернет-провайдер якобы выплатит семье пострадавшего определённую сумму денег «на лечение». Целью такой рассылки является сбор *e-mail* адресов - после многочисленных пересылок «всем знакомым» в тексте такого письма часто содержатся *e-mail* адреса всех, кому оно было переслано ранее. А в числе очередных адресатов вполне может оказаться и инициировавший его спамер.

В настоящее время доля вирусов и спама в общем трафике электронной почты 85 – 95%.

Для затруднения автоматической фильтрации спама сообщения часто искажаются - вместо букв используются похожие по начертанию цифры, латинские буквы - вместо русских, в случайных местах добавляются пробелы. Используются и другие приемы.

Спамеру эти рассылки практически ничего не стоят, зато дорого обходятся получателю спама, которому приходится оплачивать своему провайдеру время, затраченное на получение непрошенной корреспонденции с почтового сервера. Провайдерам спам приносит неудобства вследствие повышения нагрузки. В силу массового характера почтовых рассылок, последние затрудняют работу информационных систем и ресурсов, создавая для них бесполезную нагрузку. Пользователи сети ежедневно тратят время на обработку бесполезных для них рекламных сообщений. Для того чтобы сократить это время, они используют противоспамные фильтры, которые могут стереть и важное сообщение, сочтя его за спам.

Существует программное обеспечение для автоматического определения спама. Оно предназначено для конечных пользователей или для использования на серверах. Первый подход заключается в том, что анализируется содержание письма и делается вывод, спам это или нет. Если письмо классифицировано как спам, оно может быть помечено, перемещено в другую папку или даже удалено. Второй подход заключается в том, чтобы, применяя различные методы, опознать отправителя как спамера, не заглядывая в текст письма. Если получатель отказывается принять письмо, спамерская программа пытается обойти защиту и отправить его другим способом. Каждую такую попытку приходится отражать отдельно, что увеличивает нагрузку на сервер. Место установки антиспамного ПО (персональный или почтовый сервер провайдера) определяет того, кто будет нести издержки, связанные с фильтрацией спама.

Смайлики :-) С увеличением доли письменного (не голосового) общения выявилась еще одна проблема: человек, к которому вы обращаетесь, может быть незнаком или недостаточно знаком с вами. В тоже время при письменном общении отсутствует такой важный компонент, как интонация речи, и ваше сообщение может быть неверно истолковано: шутка воспринята как намерение обидеть, или серьезный тон принят за шуточный. Во избежание таких недоразумений сетевой этикет предусматривает использование специальных интонационных символов – смайликов (smile – улыбка). Т.е. в настоящее время интонации на письме принято обозначать явным образом. Чтобы понять смысл приведенных ниже смайликов, просто наклоните голову к левому плечу, и посмотрите на них. :) :^) :- (8-) :-))) Если в текстовом редакторе *MS Word* вы наберете последовательность: двоеточие, правая скобка, то она автоматически преобразуется в смайлик, смысл которого становится понятен сразу 😊.

2. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК

В *web* размещены миллионы сайтов, причем с актуальной информацией соседствует много устаревших ресурсов, мусора и недобросовестной рекламы. Интернет - это наиболее демократичный источник информации. Каждый может разместить в Сети собственный ресурс и высказать свое мнение. В этом одновременно сила и слабость Всемирной сети. Находить информацию в Интернете, вероятно, было бы очень трудно, если бы не были созданы мощные поисковые инструменты: поисковые машины (поисковики), каталоги-рейтинги (рубрикаторы), тематические списки ссылок, онлайн-энциклопедии и словари. Для поиска разного рода информации наиболее эффективными оказываются различные инструменты.

2.1 Автоматизация информационного поиска

Информационный поиск (ИП) - процесс поиска неструктурированной документальной информации и наука об этом поиске. Термин введен Кельвином Муром в 1948.

Системы автоматизированного информационного поиска (ИП), или информационно-поисковые системы (ИПС) разрабатывались для управления информационным взрывом в научной литературе. Некоторые библиотеки использовали ИПС для облегчения доступа к книгам, журналам и другим документам. Широкое распространение ИПС началось с появлением сети Интернет.

Поиск информации представляет собой процесс выявления в некотором множестве документов всех таких, которые посвящены указанной теме, удовлетворяют заранее определенному условию поиска или

содержат необходимые факты, сведения, данные. Процесс поиска включает последовательность операций, направленных на сбор, обработку и предоставление необходимой информации заинтересованным лицам. Поиск информации состоит из четырех этапов: определение информационной потребности и формулировка информационного запроса; определение совокупности возможных держателей информационных массивов; извлечение информации из выявленных информационных массивов; ознакомление с полученной информацией и оценка результатов поиска.

Полнотекстовый поиск - поиск по всему содержимому документа. Пример полнотекстового поиска - любой интернет-поисковик, например *www.yandex.ru*, *www.google.com*. Для ускорения поиска используют предварительно построенные индексы (например, инвертированные). **Поиск по метаданным** - поиск по неким атрибутам документа, поддерживаемым системой - название документа, дата создания, размер, автор и т. д. Пример поиска по реквизитам - диалог поиска в файловой системе (например, *MS Windows*). **Поиск по изображению** - поиск по содержанию изображения. Поисковая система распознает содержание фотографии. В результатах поиска пользователь получает похожие изображения. Так работают поисковые системы: *Xcavator Retrievr PolarRose Picollator Online by Recogmission*. **Адресный поиск** - процесс поиска документов по чисто формальным признакам, указанным в запросе. Для осуществления нужны следующие условия: Наличие у документа точного адреса Обеспечение строгого порядка расположения документов в запоминающем устройстве или в хранилище системы. Адресами документов могут выступать адреса веб-серверов и веб-страниц и элементы библиографической записи, и адреса хранения документов в хранилище. **Семантический поиск** - процесс поиска документов по их содержанию. Условия: перевод содержания документов и запросов с естественного языка на информационно-поисковый язык и составление поисковых образов документа и запроса; составление поискового описания, в котором указывается дополнительное условие поиска. Принципиальная разница между адресным и семантическим поисками состоит в том, что при адресном поиске документ рассматривается как объект с точки зрения формы, а при семантическом поиске - с точки зрения содержания. При семантическом поиске находится множество документов без указания адресов. В этом принципиальное отличие каталогов и картотек. **Библиотека** - собрание библиографических записей без указания адресов.

Документальный поиск - процесс поиска в хранилище информационно-поисковой системы первичных документов или в базе данных вторичных документов, соответствующих запросу пользователя. Существуют два вида документального поиска: 1. Библиотечный, направленный на нахождение первичных документов. 2. Библиографический, направленный на нахождение сведений о документах, представленных в виде библиографических записей. **Фактографический поиск** - процесс поиска фактов, соответствующих информационному запросу. К фактографическим данным относятся сведения, извлеченные из документов, как первичных, так и вторичных и получаемые непосредственно из источников их возникновения. Различают два вида: 1. Документально-фактографический, заключается в поиске в документах фрагментов текста, содержащих факты. 2. Фактологический (описание фактов), предполагающий создание новых фактографических описаний в процессе поиска путем логической переработки найденной фактографической информации. Различия между документальным и фактографическим методами колоссальны.



Информационный поиск - большая междисциплинарная область науки, стоящая на пересечении *когнитивной психологии*, информатики, информационного дизайна, лингвистики, семиотики, и библиотечного дела. Информационный поиск рассматривает поиск информации в документах, поиск самих документов, извлечение метаданных из документов, поиск текста, изображений, видео и звука в локальных реляционных базах данных, в гипертекстовых базах данных таких, как Интернет и локальные интранет-системы.

Когнитивная психология - раздел психологии, изучающий когнитивные, т. е. познавательные, процессы человеческого сознания. Исследования в этой области обычно связаны с вопросами памяти, внимания, чувств, представления информации, логического мышления, воображения, способности к принятию решений. Многие положения когнитивной психологии лежат в основе современной психолингвистики.

Говоря о системах информационного поиска, употребляют термины запрос и объект запроса. **Запрос** - формализованный способ выражения информационных потребностей пользователем системы. Для выражения информационной потребности используется язык поисковых запросов, синтаксис варьируется от системы к системе. Кроме специального языка запроса, современные поисковые системы позволяют вводить запрос на естественном языке. **Объект запроса** - информационная сущность, которая хранится в базе автоматизированной системы поиска. Несмотря на то, что наиболее распространенным объектом запроса является текстовый документ, не существует никаких принципиальных ограничений. В частности, возможен поиск изображений, музыки и другой мультимедиа информации. Процесс занесения объектов поиска в информационно-поисковую систему называется индексацией. Далеко не всегда ИПС хранит точную копию объекта, нередко вместо неё хранится суррогат.

Релевантный документ - документ, смысловое содержание которого соответствует *информационному запросу*. Современные поисковые машины осуществляют поиск по контексту, т.е. словам, содержащимся в запросе, учитывая вариации словоформ и расширяя запросы синонимами. Но смысла компьютеры не понимают, поэтому в списке ответов на запрос, наряду с релевантными вашему запросу документами, вы можете получить и те, которые вам никоим образом не подходят. Очевидно, что *от умения грамотно выдавать запрос зависит процент получаемых релевантных документов*. Доля релевантных документов в списке всех найденных поисковой машиной называется точностью поиска. Нерелевантные документы называют шумовыми. Если все найденные документы релевантны (шумовых нет), то точность поиска составляет 100%. Если найдены все релевантные документы, то полнота поиска - 100%.

Таким образом, качество поиска определяется двумя взаимозависимыми параметрами: точностью и полнотой поиска. Увеличение полноты поиска снижает точность, и наоборот.

Поисковые системы можно сравнить со справочной службой, агенты которой обходят предприятия, собирая информацию в базу данных. При обращении в службу информация выдается из этой базы. Данные в базе устаревают, поэтому агенты их периодически обновляют. Иными словами, справочная служба имеет две функции: 1) создание и постоянное обновление данных в базе и 2) поиск информации в базе по запросу клиента. Аналогично, поисковая машина состоит из двух частей: так называемого *поискового робота* (или паука), который обходит серверы Сети и формирует базу данных, и *механизма поиска* релевантных запросу пользователя ссылок в базе. Следует отметить, что, отрабатывая конкретный запрос пользователя, поисковая система оперирует именно внутренней базой данных (а не пускается в путешествие по Сети). Несмотря на то, что база данных поисковой машины постоянно обновляется, поисковая машина не может проиндексировать все *Web*-документы: их число слишком велико. Проблема недостаточности полноты поиска состоит не только в ограниченности внутренних ресурсов поисковика, но и в том, что скорость робота ограничена, а количество новых *Web*-документов постоянно растет. Наиболее популярными на сегодня поисковыми системами являются Google (www.google.com, www.google.ru) и Яндекс (www.yandex.ru).

Центральная задача информационного поиска - помочь пользователю удовлетворить его информационную потребность. Так как описать информационные потребности пользователя технически непросто, они формулируются как некоторый запрос, представляющий собой набор ключевых слов, характеризующий то, что ищет пользователь. Классическая задача - поиск документов, удовлетворяющих запросу, в рамках некоторой статической коллекции документов. Сюда относят: моделирование; классификация, фильтрация и кластеризация документов; проектирование архитектур поисковых систем и пользовательских интерфейсов; извлечение информации, в частности аннотирования и реферирования документов; языки запросов и др.

Существует много способов оценить насколько хорошо документы, найденные информационно-поисковой системой, соответствуют запросу. Понятие степени соответствия запроса, или другими словами релевантности, является субъективным понятием, а степень соответствия зависит от конкретного человека, оценивающего результаты выполнения запроса.

Точность - отношение числа релевантных документов, найденных ИПС, к общему числу найденных документов; **полнота** - отношение числа найденных релевантных документов, к общему числу релевантных документов в базе; **выпадение** - вероятность нахождения нерелевантного ресурса (определяется, как отношение числа найденных нерелевантных документов к общему числу нерелевантных документов в базе); **F-мера** (мера Ван Ризбергена) – гармоническое среднее точности и полноты.

2.2 Датамайнинг

В сравнении дисциплин «информатика» и «датамайнинг» делается упор на то, что понятие «информация» в информатике и датамайнинге несет разный смысл. Если в информатике информация – это возможность выбора между несколькими альтернативами, то в датамайнинге информация обладает такими атрибутами, как «смысл», «достоверность», «полнота», «нужность», «полезность», «тенденциозность» и др. характеристиками, которым нет места в информатике. Информатику интересует вопрос: КАК необходимо обрабатывать информацию, а не то, ЧТО несут эти данные. Предметами изучения датамайнинга являются: сбор информации, систематизация информации, ее осмысление и творческая переработка. Методами изучения датамайнинга являются: просмотр документов (в котором необходимы навыки быстрого чтения и быстрого запоминания), поиск документов в реляционных, древовидных и полнотекстовых базах данных, составление этих баз данных, составление и анализ интеллект-карт, реферирование документов, их классификация данных.

Интеллектуальный анализ данных (ИАД) включает методы и модели статистического анализа и машинного обучения, дистанцируясь от них в сторону *автоматического* анализа данных. Инструменты ИАД позволяют проводить анализ данных предметными специалистами (аналитиками), не владеющими соответствующими математическими знаниями.

Задачи, решаемые интеллектуальным анализом данных:

1. Классификация - отнесение входного вектора (объекта, события, наблюдения) к одному из заранее известных классов.
2. Кластеризация - разделение множества входных векторов на группы (кластеры) по степени «похожести» друг на друга.
3. Сокращение описания - для визуализации данных, лаконизма моделей, упрощения счета и интерпретации, сжатия объемов собираемой и хранимой информации.

4. Ассоциация - поиск повторяющихся образцов. Например, поиск «устойчивых связей в корзине покупателя» (*market basket analysis*) — вместе с пивом часто покупают орешки.
5. Прогнозирование
6. Анализ отклонений - Например, выявление нетипичной сетевой активности позволяет обнаружить вредоносные программы.
7. Визуализация

Датамайнинг – информационный поиск в Интернете.

Прежде, чем начать поиск информации в Интернете необходимо определиться с целями датамайнинга; с помощью интеллект-карт уточнить область поиска, определиться с источниками информации, и только собрав эти сведения, приступить к собственно поиску. Датамайнинг в Интернете не заменяет, а дополняет оффлайновый датамайнинг. Наличие Интернета не отменяет поиск литературы в журналах, энциклопедиях, в монографиях. Просто сместились акценты этого поиска. Поиск информации в Интернете можно разделить на: поиск ссылок на статьи и Веб-страницы; поиск ресурсов по данной теме. При этом не нужно сразу начинать с поиска ссылок, лучше вначале определиться с доступными для поиска ресурсами.

При поиске материала по теме начинать надо с оффлайновых энциклопедий и специализированной литературы. Далее углубить поиск, уже с использованием Интернет. При этом можно обратиться в онлайн-энциклопедии и библиотеки, читать онлайн-версии обычных журналов, подписаться на почтовые рассылки по теме. В этих онлайн-ресурсах можно получить полезную информацию и найти полезные ссылки на специализированные сайты. При поиске ресурсов в Интернете используют программы-браузеры Интернет, программы для захвата и каталогизации содержимого страниц, программы для захвата и каталогизации ссылок на ресурсы в сети, программы обеспечения безопасности при работе в сети

При поиске ресурсов следует интенсивно работать с программами-каталогизаторами ссылок. Не следует пренебрегать при поиске ресурсов почтовыми рассылками, которые позволяют: получить необходимые ссылки на ресурсы, проверенные автором рассылки; получить представление о теме, по которой осуществляется поиск; познакомиться с автором рассылки и получить обратную связь. Можно получить рецензию на полученные материалы у автора рассылки. Подписаться на почтовые рассылки можно на сайте <http://www.subscribe.ru>, на котором находится множество разделов, в которых можно выбрать рассылку. Свои подписки имеют многие известные порталы. Например, обзоры книг, информацию о компьютерных курсах можно узнать из подписки на сайте <http://www.citforum.ru>.

Человек, занимающийся датамайнингом длительное время, начинает поиск ссылок не с поисковых систем, а со специализированных каталогов ресурсов, таких как *Wikipedia* <http://www.wikipedia.org>, Справочник «Жёлтые страницы Интернет» (каталог ресурсов русского Интернета) <http://yp.piter.com>, Проект Россия-Он-Лайн, где собрана большая коллекция рефератов, шпаргалок и курсовых работ по разным тематикам на русском языке <http://www.referat.ru>, Большой каталог тематических ресурсов в Интернет печатается в журнале «ПК-Просто», «PC Magazine/RE» и др.

Следующее место, куда следует обратиться в процессе поиска информации – это поисковые системы - порталы, где, помимо поиска, располагаются каталоги ресурсов, платежные системы, услуги предоставления бесплатного почтового ящика, бесплатного хостинга или размещения блогов (сетевых журналов). Наиболее популярные поисковые системы приведены на интеллект-карте «*Search Systems*» («Поисковые системы»), а предоставляемые ими услуги – на интеллект-карте «Порталы Рунета». Каталоги поисковых систем могут быть использованы для поиска ссылок специализированных сайтов, когда предметная область поиска «локализована».

Поиску в Интернет помогают метапоисковые системы, такие, как *Web Ferret* и другие. Метапоисковая система – клиентская программа, которая ищет ссылки на специализированные сайты, но не из своей базы или индекса. Она использует индексные базы данных и каталоги других поисковых систем. Поскольку поиск ведется сразу по нескольким поисковым системам, количество найденных ссылок у метапоисковых систем больше, чем у обычных поисковых машин. RSS-агрегаторы позволяют сразу после соединения с Интернетом найти на сайте обновления контента. К сожалению, обновить информацию можно только на тех сайтах, которые поддерживают RSS-агрегаторы. Если ресурс для Вас представляет ценность, то для получения информации с него обязательно используйте RSS-агрегаторы.

RSS-агрегатор - клиентская программа или веб-приложение для автоматического сбора сообщений из источников, экспортирующих в форматы *RSS* или *Atom*, например заголовков новостей, блогов, подкастов и видеоблогов. Агрегаторы бывают двух типов. *Web*-агрегаторы и программные агрегаторы. Задачи их одинаковы — работа с *RSS* и получение обновлений.

Подкастинг - процесс создания и распространения звуковых или видео-передач во Всемирной сети (обычно в

формате *MP3*, *AAC* или *Ogg/Vorbis* для звуковых и *Flash Video* и других для видео-передач). Подкасты имеют определенную тематику и периодичность издания, однако бывают и исключения.

RSS - семейство *XML* - форматов, предназначенных для описания лент новостей, анонсов статей, изменений в блогах и т. п. Информация из различных источников, представленная в формате *RSS*, может быть собрана, обработана и представлена пользователю в удобном для него виде специальными программами-агрегаторами.

Atom - основанный на *XML* формат, предназначенный для новостных лент, анонсов статей и так далее. Удобен для использования в блогах, однако может применяться и для любых других новостных и периодических изданий в Интернет. Существенной частью спецификации является протокол, работающий поверх *HTTP*, предназначенный для автоматизации ведения блога.

После посещения специализированных каталогов и поисковых систем получают ссылки на специализированные сайты с нужной информацией (Заглавная страница проекта и т.п.). Просмотр сайта ведут с использованием его навигации. На сайтах, имеющих в своем составе большие объемы информации, имеются специальные инструменты навигации. Это Информационное меню, которое похоже на страницу «Содержание» на странице справочной системы *Windows*, и отражает логическую структуру сайта. Пункты меню имеют разную вложенность, поэтому попасть сразу на нужную страницу из информационного меню представляется проблематичным. Если Вы знаете, на какую именно страницу Вы хотите попасть, используйте карту сайта. Карта сайта – отображение структуры файлов и каталогов сайта, представленное в виде дерева (как в проводнике – *Windows Explorer*). Используя карту сайта, можно просто и быстро найти нужную страницу с информацией, и вызвать её одним щелчком мыши. Строка: «Поиск по сайту». Этот пункт представляет собой простую полнотекстовую поисковую систему, с помощью которой можно найти нужные слова или фразы на любой странице сайта. Этот инструмент полезен для поиска конкретного контента на сайте.

На специализированных сайтах может присутствовать различная информация в любом виде. Приведём некоторые наиболее распространенные форматы файлов на сайтах: *HTML*-страницы (и их разновидности). В этом формате могут быть представлены статьи и навигация по сайту; *PDF*-документ. В этом формате часто представляются статьи, специально предназначенные для печати на принтере; Документы *Microsoft Office* (*Word*, *Excel*, *PowerPoint*, *Publisher* и т. п.). Эти документы предназначены для правки и печати; Графические изображения (рисунки, фотографии, схемы в форматах *.GIF*, *.JPEG* и *.PNG*) – для представления не текстовой информации; Программные продукты (расширение *.EXE*). В этом формате распространяется большинство демонстраций и обучающих программ; Архивные файлы (с расширением *.ZIP*, *.RAR*, *.TAR.Z*, *.TAR.GZ* и др.). Они представляют собой как бы "контейнеры" для передачи файлов или группы файлов любых других форматов; другие форматы данных (например, звуковые файлы) используются значительно реже.

Для чтения файлов, скаченных из Интернета, используйте программное обеспечение, работающее с соответствующими форматами данных: для чтения гипертекстовых документов: любой современный браузер (*Microsoft IE 6.0*, *Maxton 2.xx*, *Mozilla FireFox 1.5*); для чтения *PDF*-файлов: программа *Adobe Acrobat Reader 7.0*; для чтения документов *Microsoft Office*: *Microsoft Office 97-XP*; для просмотра графических изображений: *Fast Stone Image Viewer*, *IrfanView*, *XnView*, *Wega 2*; для распаковки архивных файлов – программу *WinRAR 3.51*.

Все собранные из Интернет документы по теме необходимо держать в одной папке. Но использование компьютера позволяет хранить документы сразу в нескольких папках, группируя их в зависимости от сложности темы. Корень каталогов с темами для датамайнинга должен начинаться от папки «Мои документы». Преимущества выбора данной папки для корня следующие: Все поисковые системы позволяют осуществлять поиск файлов в папке «Мои документы». Для поиска в других местах диска это правило может не работать. Папку «Мои документы» легко архивировать. Если Вы перенесли папку «Мои документы» с диска *C:* на любой другой диск, Вам не нужно будет беспокоиться о проблемах с виртуальной памятью, исчерпанием места на диске и потерей данных в результате краха системы. Некоторые пользователи сохраняют свои документы на рабочем столе своего компьютера. Этого делать не надо. Желательно в папке «Мои документы» создать дочернюю папку с запоминающимся именем (*PROJ*, *DATAMING* или др.), куда будете помещать свои проекты, и обязательно выведите ярлык этой папки на рабочий стол! Это сделать желательно, поскольку Вы можете тогда вызывать список Ваших тем для датамайнинга с рабочего стола.

Для хранения полнотекстовых документов вместе с их изображениями предназначены древовидные базы данных. Их устройство достаточно просто: база данных представляет собой дерево, начинающееся с корня и имеющая в своем составе «ветви» и «листья» (хранимые документы); ветви и листья могут перемещаться по базе данных, гибко меняя свою структуру; у каждой базы есть функции экспорта и импорта документов; многие базы данных могут быть «интегрированы» с браузерами Интернета; кроме

опций импорта и экспорта документов, в этих базах есть возможности редактирования текста документа, создания парольного доступа к некоторым ветвям, создание заметок к ветвям, изображения ветвей и документов с помощью индивидуальных иконок и т.п.

Наиболее «продвинутой» и специально предназначенной для классического датамайнинга является программа *MyBase*. В этой базе данных можно создавать ветви любой вложенности. Программа может импортировать обрабатывать в себе файлы следующих форматов: *text/plain*; *text/html*; *Rich Text Format*. Встроенный в базу данных редактор может выполнять большинство команд редактирования текста, доступных в текстовых процессорах. Также возможен импорт *HTML*-страниц вместе с рисунками, скриптами и ссылками. В этих системах реализовано создание и отображение перекрестных ссылок внутри базы данных. Базу данных можно также использовать для создания конспектов и заметок, имеющих вложенные пункты (например, 1., 2., 2.1, 2.2, 3., 3.1., 3.1.1. и т.п. Преимущество *MyBase* состоит в том, что эти базы данных индексируются локальной поисковой системой Архивариус 3000. В некоторых случаях полезна база данных *AML Pages*.

Поиск документа на компьютере обычно ведут через команды поиск системы *Windows*.

Специальные локальные поисковые системы осуществляют такой поиск намного быстрее. Их особенность состоит в том, что они создают индекс файлов, которые может искать данная поисковая система, расположенных в определенных папках. Благодаря тому, что индексация происходит заранее и тому, что из индекса удаляются лишние папки, поиск в этих системах идёт на порядки быстрее. Поисковая система *Copernic Desktop Search* - не является полнотекстовой поисковой системой. Принцип её использования – создание индекса файлов в указанных каталогах и поиск с его помощью 30 различных фильтров. Помимо стандартных фильтров (по дате и размеру), программа способна искать: музыкальные файлы: по тегам «Исполнитель», «Жанр», «Альбом», год выпуска; видеофайлы: по тем же параметрам; базы данных почтовых сообщений: по имени адресата, теме сообщения, даты получения/отправки; файлы *Office* – по автору документа, названия работы и т.п. Кроме того, возможен поиск файлов по указанным шаблонам. Программа при своей работе сразу выдает список проиндексированных файлов, соответствующих запросу, сразу после введения условий на фильтрах. Любой файл тут же можно просмотреть или воспроизвести (для музыкальных файлов).

Поисковая система Архивариус 3000 - позволяет осуществлять полнотекстовый поиск по большому числу текстовых документов. Она обладает меньшим набором фильтров, чем поисковая система *Copernic Desktop Search*, но обладает уникальным механизмом текстового поиска. Данная программа позволяет использовать стандартный набор фильтров для поиска файлов; искать текст по словам, регулярным выражениям и фразам (доступно в режиме расширенного поиска); ранжировать найденные файлы: по точности совпадения запроса, по количеству слов из запроса, встретившемся в файле, по расширению файла; просматривать найденные файлы в унифицированном интерфейсе; осуществлять поиск слов из кириллических символов, даже содержащих ошибки; перекодировать символы, написанные транслитерацией; вызывать файлы на редактирование одним щелчком мыши; создавать и обновлять индекс файлов; индексировать почтовые базы данных, списки контактов и другие записи почтовых клиентов; индексировать большинство текстовых форматов, в том числе и древовидные базы данных программы *MyBase*. Всё это позволяет рекомендовать эту поисковую систему в качестве основной системы для полнотекстового поиска файлов, содержащих кириллические символы.

2.3 Анализ информации

Одним из показателей качества информации, находящейся в Интернете является индекс цитируемости.

Индекс цитирования (ИЦ) - показатель поисковой системы, вычисляемый на основе числа ссылок на данный ресурс с других ресурсов сети Интернет. В простейшей разновидности индекса цитирования учитывается только количество ссылок на ресурс. Тематический индекс цитирования (ТИЦ) учитывает также тематику ссылающихся на ресурс сайтов, а взвешенный индекс цитирования - популярность ссылающихся сайтов (также в большинстве случаев вычисляемую на основе индекса цитирования). Первоначально, до того как появились оптимизаторы сайтов, индекс цитирования реально отражал популярность соответствующего ресурса в интернете.

Первой крупной поисковой системой, начавшей активно использовать индекс цитирования, стала Google (алгоритм PageRank). В русскоязычном сегменте Интернета наибольшей известностью пользуется ИЦ «Яндекса» (ТИЦ или «Денежка»).

Показатель «качества» текста в Интернете можно определить, рассчитав рейтинг страницы через количество ведущих на неё ссылок и рейтинг ссылающихся страниц. Другие способы основаны на учёте

частоты обновляемости страницы, учёте посещаемости, учёте регистрации в каталоге – спутнике поисковой системы и др.

PageRank (от *Larry Page Rank*) (иногда просто **PR**) - алгоритм расчёта авторитетности страницы, используемый поисковой системой Google.

PageRank можно перевести с английского языка как «ранг страницы», однако представители *Google Inc.* связывают слово *Page* в названии рейтинга не с английской «страницей», а с именем Лэрри Пейдж. 4.09.2001 патентное ведомство США зарегистрировало патент № 6285999 на систему *PageRank* как часть рейтингового механизма *Google*. Патент официально выписан на Стэнфордский университет и указывает Лоренса Пейджа в качестве изобретателя.

PageRank - это числовая величина, характеризующая «важность» страницы в *Google*. Чем больше ссылок на страницу, тем она становится «важнее». Кроме того, «вес» страницы *A* определяется весом ссылки, передаваемой страницей *B*. Таким образом, *PageRank* - это метод вычисления веса страницы путем подсчёта важности ссылок на неё. *PageRank* является одним из вспомогательных факторов при ранжировании сайтов в результатах поиска. *PageRank* не единственный, но очень важный способ определения положения сайта в результатах поиска *Google*. *Google* учитывает не все ссылки. Поисковая система отфильтровывает ссылки с сайтов, специально предназначенных для скопления ссылок. Некоторые ссылки могут не только не учитываться, но и отрицательно сказаться на ранжировании ссылающегося сайта (такой эффект называется *поисковой пессимизацией*). В *Google* понимают, что вебмастер не в состоянии повлиять на входящие внешние ссылки, но полностью контролирует исходящие ссылки со своего сайта. Поэтому ссылки на сайт не могут повредить ему, но ссылки с сайта - могут. Следует внимательно относиться к сайтам, на которые вы ссылаетесь.

2.4 Научные поисковые системы

Приведём некоторые ссылки на специализированные научные поисковые системы, электронные архивы, средства поиска статей и ссылок.

Scirus <http://www.scirus.com/> - Универсальная научная поисковая система. Осуществляет полнотекстовый поиск по статьям журналов большинства крупных иностранных издательств (17 млн. статей), статьям в крупных архивах статей и препринтов, научным ресурсам Интернет. Лучшая специализированная поисковая система. Можно осуществлять поиск в *Scirus'e* прямо из браузера, быстро перемещаться между результатам поиска по разным запросам, подсвечивать на найденных страницах слова из поисковых запросов.

Google Scholar <http://scholar.google.com/> -поисковая система по научной литературе. Включает статьи крупных научных издательств, архивы препринтов, публикации на сайтах университетов, научных обществ и других научных организаций. Ищет статьи, в том числе на русском языке, рассчитывает индекс цитирования публикаций и позволяет находить статьи, содержащие ссылки на те, что уже найдены.

Science Research Portal – <http://www.scienceresearch.com/scienceresearch/> - научная поисковая система, осуществляющая полнотекстовый поиск в журналах многих крупных научных издательств, таких как *Elsevier*, *Highwire*, *IEEE*, *Nature*, *Taylor & Francis* и др. Ищет статьи и документы в открытых научных базах данных: *Directory of Open Access Journals*, *Library of Congress Online Catalog*, *Science.gov* и *Scientific News*.

Windows Live Academic <http://home.live.com/> - бета-версия научной поисковой системы от *Microsoft*. Предназначена для поиска научных статей как в открытых источниках, так и в архивах изданий с платным доступом. К 2006 в систему были введены только статьи по физике, компьютерным технологиям, электротехнике и смежным дисциплинам.

Infotrieve - artical finder <http://www4.infotrieve.com/search/databases/newsearch.asp> - Поиск статей в 35000 журналах по физике, технике, медицине, юриспруденции и др. Можно читать аннотации. Полные тексты статей тут же, но за деньги (~20\$ за статью).

Medline <http://www.medline.ru/medline/> Поиск по статьям медицинской тематики. Созданная национальной медицинской библиотекой США эта база данных включает статьи из более 3900 медицинских и биологических журналов, издающихся в 71 стране мира. Практически тематика намного шире только медицинской, поскольку в базу данных попадают статьи из всех журналов, в которых подобная статья может появиться (например, *Physical Review E*). Тоже *Medline*, но с другим интерфейсом: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/> и <http://research.bmn.com/>.

HighWire Press + Medline <http://www4.infotrieve.com/search/databases/newsearch.asp> Большое хранилище научных журналов, предоставляющих бесплатный полнотекстовый доступ к своим статьям (968 журналов, 1.39 млн. статей). Данная поисковая система позволяет осуществлять полнотекстовый поиск в этих журналах + поиск в *Medline*. Бесплатные статьи можно скачать.

e-Print ArXive <http://xxx.lanl.gov/> Лос-Аламосский архив электронных публикаций. Это коллекция копий

статей по физике, математике, нелинейной динамике, *computer science*. Цель создания - свободный обмен научной информацией. Авторы размещают здесь свои статьи до опубликования, а иногда и вовсе без этого. Содержит поисковую систему по тематическим разделам.

ResearchIndex <http://www.nec.com/> Научная поисковая система, индексирующая статьи в *PostScript* и *PDF* формате с научных веб-сайтов. Многие статьи доступны для бесплатного скачивания. Кроме полнотекстового поиска по статьям система также осуществляет поиск ссылок на данную публикацию или автора.

Scientopica http://www.scientopica.com/sci/adv_search.php Научная поисковая система и каталог научных ресурсов

SciNet – Science search <http://www.scinet.cc/> Рекламирует себя как первая из научных поисковых систем. Совмещена с каталогом научных ресурсов.

Поиск статей на сайтах научных издательств

Издательство Elsevier <http://www.elsevier.nl/> Поиск по журналам издательства *Elsevier (Physics Letters A, Physica D etc.)*.

Издательство Springer <http://www.springerlink.com/home/main.mpx> Поиск по журналам издательства *Springer (Biological Cybernetics etc.)*.

Издательство Blackwell Publishers

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/home?CRETRY=1&SRETRY=0> Поиск по журналам издательства *Blackwell Publishers*.

Журналы, издаваемые институтом Иоффе <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/> Журналы: ЖТФ, Письма в ЖТФ, Физика твердого тела, Физика и техника полупроводников. Имеется поисковая система по заголовкам, авторам и аннотациям статей (без словоформ). Статьи доступны для бесплатного скачивания.

Издательство World Scientific Publishing http://journals.wspc.com.sg/search/jsearch_all.shtml Поиск по журналам издательства (например, *International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Science and Engineering*).

3. ИСТОЧНИКИ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРНЕТЕ

В предыдущей лекции мы уже упоминали о некоторых важных источниках информации в Интернете, в том числе – по научно-технической тематике. Ниже мы перечислим некоторые из электронных библиотек с указанием адресов в Интернете и необходимыми комментариями. Заодно упомянем некоторые полезные сайты университетов и частных лиц. Основное внимание мы уделим поиску информации в ядерной сфере – радиоактивности, радиохимии, ядерной индустрии и т.п. Общие энциклопедии и справочники (Википедия, Викизнание, Большая Советская энциклопедия и т.п.) мы здесь рассматривать не будем (см. предыдущую лекцию). Однако ссылки на Физическую и Химическую энциклопедии приведём.

3.1 Центральные библиотеки

Google Book Search <http://books.google.com/> - проект компании *Google*, обеспечивает поиск книг в Интернете. Содержит значительное количество полных текстов книг, в том числе и русском языке, просмотр части книг (1900 - 1923) возможна только жителям США.

Европейская электронная библиотека «Europeana» <http://www.europeana.eu/portal/> - содержит оцифрованные объекты культурного наследия Европы: книги, картины, фотографии, аудиозаписи. Материалы распространяются с лицензией для некоммерческого использования, либо, находящиеся в общественном достоянии, к 2010 общее количество планируется довести до 10 млн.

Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru/> Фонд электронной библиотеки диссертаций и Фонд Электронной Ленинки включает электронные копии документов, отсканированных в РГБ по различным проектам и в целях сохранности оригиналов (книги, периодические издания, карты, ноты, изобразительные материалы), электронные тексты из Интернета. Все ресурсы доступны в Зале электронной библиотеки РГБ - *LG*, читальном зале отдела диссертаций и некоторых других читальных залах РГБ.

openlibrary.org <http://openlibrary.org/> - проект некоммерческой организации Internet Archive по оцифровке книг находящихся в общественном достоянии (в рамках Open Content Alliance) «Открытая библиотека», содержит сканы публикаций доступных для просмотра и скачивания, в том числе - большое количество книг на русском языке XIX-XX вв.

Проект «Гутенберг» http://www.gutenberg.org/wiki/Main_Page первая в мире электронная библиотека (1971). Содержит 200000 текстов, аудиокниг, нотные записи, MIDI и видеороликов (США). Русские тексты Гуттенберг - на сайте <http://www.gutenberg.org/browse/languages/ru>

World Digital Library <http://www.worlddigitallibrary.org/project/english/index.html> - всемирная цифровая библиотека – проект Библиотеки Конгресса США. В 2007 к проекту присоединилась Российская национальная библиотека.

Центр оцифровки Гёттингена http://digiwubu.gdz-cms.de/no_cache/ru/wunschbuecher/ - центр в Германии осуществляет оцифровку фондов университетской библиотеки Гёттингена, помимо литературы на русском языке содержит издания на русском в области математики (в рамках проекта Русская электронная математическая библиотека).

Библиотека Максима Мошкова <http://lib.ru/> или <http://www.lib.ru>- старейшая, наиболее известная и одна из крупнейших русскоязычных сетевых библиотек. Содержит литературные произведения всех жанров, а также нехудожественную литературу и музыку.

Библиотека «Альдебаран» <http://www.aldebaran.ru/> - одна из крупнейших электронных библиотек Рунета, второй по цитируемости ресурс в каталоге «Яндекса» после библиотеки Максима Мошкова. На сайте представлен большой выбор художественной, документальной, учебной и технической литературы. Но теперь многие книги стали недоступны для скачивания и просто прочтения с экрана монитора.

Библиотека ImWerden <http://imwerden.de/> (в переводе с немецкого «в развитии», «в становлении») - электронная библиотека Рунета. Самое большое в Рунете собрание авторских чтений своих произведений в аудио- и видеоформатах

Библиотека IQlib <http://www.iqlib.ru/> - электронная библиотека образовательных и просветительских изданий.

Электронная библиотека <http://www.zipsites.ru/> Философия. Психология. Логика. Этика и эстетика Религия Теология Справочники Словари Энциклопедии Диссертации Рефераты Общественные науки Народное образование Воспитание Обучение Организация досуга Военное искусство Военные науки Этнография Нравы Обычаи Фольклор Математика и естественные науки Прикладные науки. Техника Медицина. Охрана здоровья Искусство. Декоративно-прикладное искусство. Фотография. Музыка. Игры. Спорт Языкознание. Лингвистика. Филология Литература. Литературоведение Аудио-, видео-файлы Информационные технологии. Вычислительная техника

Российская Литературная Сеть <http://www.rulib.net/> Для всех, кто интересуется и отечественной, и зарубежной литературой. <http://www.natahaus.ru/> - портал – аннотации книг.

Рубрикон: энциклопедия <http://www.rubricon.com/> РУБРИКОН - информационно-энциклопедический проект компании «Русс портал», в рамках которого пользователь впервые получает одновременно и удобный инструмент поиска лучших ресурсов интернета, и свободный доступ к полным электронным версиям энциклопедий и словарей, изданных за последние сто лет в России. Достаточно полные страноведческие характеристики, включающие в себя материал по истории, экономике и географии. Ссылки на энциклопедии, словари и источники в интернете.

3.2 Источники научной информации

В Интернете есть достаточно много источников информации одновременно по разным наукам.

ArXiv.org <http://arxiv.org/> - крупнейший бесплатный архив электронных препринтов и научных статей по физике, математике, астрономии, информатике и биологии. Разделы: *Physics, Mathematics, Nonlinear Sciences, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance, Statistics*. Создан в 1991 в Лос-Аламосской национальной лаборатории США и первоначально предназначался для физических статей, но постепенно возникли разделы, посвящённые другим наукам. В 2008 в нём содержалось 485000. Большинство публикаций архива доступно в исходном виде в формате *TeX*, но можно также скачать автоматически генерирующиеся документы в форматах *PostScript* и *PDF*. Существует возможность оформить *e-mail*-подписку на резюме новых статей. Можно подписаться либо на все статьи, либо на статьи только по интересующей тематике, например: вычислительная геометрия, дискретная математика и др. При добавлении в архив публикация автоматически добавляется в базу цитирования *Citebase*. Это позволяет оценить индекс цитирования, то есть формальный признак значимости статьи.

Статьи в arXiv выкладывают учёные, работающие в разных странах мира. Большинство статей написано на английском языке. Можно опубликовать статью и на русском при условии, что заглавие и резюме (англ.) написаны на английском языке.

Jahrbuch Database <http://www.emis.de/MATH/JFM/> - база данных при Европейском математическом обществе (*Electronic Research Archive for Mathematics*) содержащая самые выдающиеся работы по математике и теоретической физике, опубликованные с 1868 по 1942 годы. Управляется *Fiz-Karlsruhe*.

PlanetMath <http://planetmath.org/> - свободная онлайн-математическая энциклопедия на английском языке. Основной упор делается на точность и открытость. Проект находится на *Digital Library Research Lab* в

института Вирджиния Тех.

Scholarpedia <http://www.scholarpedia.org/> - онлайн-энциклопедия на вики-движке, в которой статьи пишутся приглашёнными экспертами и подлежат обязательному рецензированию. Статьи находятся в свободном доступе, но не могут быть скопированы оптом. Только зарегистрированные пользователи могут редактировать статьи. *Scholarpedia* - не всеобщая энциклопедия. Разделы: Вычислительная нейронаука, Теория динамических систем. Вычислительный интеллект (англ.), Астрофизика, Физика.

Соросовский образовательный журнал - ежемесячный журнал, издававшийся в 1995 - 2001 Международной Соросовской Программой Образования в Области Точных Наук (*ISSEP*). Обзоры по биологии, химии, наук о Земле, физики и математики - на доступном для понимания старшеклассникам уровне. Журнал бесплатно рассылался во все школы страны, муниципальные и вузовские библиотеки. В 1999 - 2007 полные тексты статей журнала свободно распространялись в Интернете. Все расходы на издание и распространение СОЖ оплачивались из средств основателя *ISSEP* Джорджа Сороса. По завершению благотворительной деятельности Сороса в России в 2001 журнал лишился финансирования и прекратил свое существование. При поддержке Департамента образования г. Москвы издание журнала было возобновлено в 2004 под названием Сетевой Образовательный Журнал, но вышли всего два номера. Адрес архива журнала: <http://web.archive.org/web/20071130004824/http://journal.issep.rssi.ru/>.

БНБ - Большая Научная Библиотека. <http://www.sci-lib.com/> или <http://sci-lib.com/full.php?pp=1>

2000 отсканированных книг по математике, физике, химии, биологии, технике, медицине, программированию и пр. Основной формат *DjVu*. На сайте есть форум для тех, кто ищет книги или сам выкладывает их в сеть. Скачивание ссылок с <http://rapidshare.de/> описано в: <http://www.sci-lib.net/index.php?showtopic=1894> На форуме библиотеки выкладываются отдельные статьи, которых не найти в открытом доступе! Правила скачивания книги с БНБ: выбираете книгу в списке, нажимаете на кнопку «Get This book». Будет выдано сообщение об ошибке, но в строке адресов вашего браузера появится адрес ссылки. Поменяйте в нем books на books_1 и осуществите переход. Достаточно скачать плагин и можно просматривать в любом браузере

Библиотека Ихтика <http://ihtika.net/> или <http://ihtik.lib.ru/> - электронная полнотекстовая библиотека (физика и др. науки).

Библиотека КГУ <http://www.ksu.ru/lib/> - электронная библиотека Казанского государственного университета. Неплохая подборка книг. Есть много интересного по химии. Преимущественно на русском языке.

Библиотека Прометей http://lib.prometey.org/?sub_id=40 – публичная электронная библиотека.

book-ua.org <http://www.book-ua.org/> – библиотека электронных учебников. Электронная библиотека: книги, учебники, лекции, ГОСТы.

Мир книг http://www.mirknig.com/estesstv_nauki/ - литература по естественным наукам. На сайте есть также много художественных и гуманитарных книг и журналов.

NeHudLit.Ru <http://nehudlit.ru/books/cat352.html> - Нехудожественная библиотека. Немного книг по химии, а также по другим наукам.

Либрусек <http://lib.rus.ec/> электронная библиотека, её сервер размещен на территории Эквадора. Следовательно, борцы с распространением знаний могут сделать ей только мелкие пакости типа спама. Есть книги по химии. Основную часть библиотеки составляет художественная литература.

Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета. <http://lib.mexmat.ru/> Возможно скачивание с использованием *e-Donkey*. Скачивается программа (*e-Donkey*, *e-Mule*), которая устанавливается, в неё заносится обновленный список сайтов (для того, чтобы сделать её рабочей) и качается.

Техническая библиотека. <http://techlibrary.ru/> Собрание ссылок на переводные и русские книги по технике. Оформление сайта минималистично и преследует цель обеспечения максимально быстрого доступа ко всем ресурсам. Книги сортированы в алфавитном порядке фамилий авторов, без упорядочивания по подразделам. Поиск проводится стандартными средствами браузера (пункт меню «Найти на странице»). Рекомендованный к использованию браузер -

Техническая библиотека <http://dmitriks.narod.ru/books/books.html> Старейший ресурс, содержащий десятки книг, как на русском, так и на английском языках. Разделы: звуковоспроизведение, радиосвязь, электроника и схемотехника, компьютеры и телекоммуникации, телефония, автомобиль, сварка, пайка, гальванотехника

Библиотека естественных наук. <http://alerial.net/5/> Ссылки на несколько тысяч книг по различным естественно-научным направлениям.

Физико-математическая библиотека. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library.htm> Книги по математике, механике и управлению, физике, диссертации, ссылки на математические книги, словари и энциклопедии,

другие электронные библиотеки

Библиотека КОЛХОЗ (KOLXOZ Library) - Зеркало проекта «Колхоз» <http://lib.homelinux.org> (Для захода надо использовать IE и ответить на простой вопрос - ответ очевиден любому русскому человеку; вопрос меняется время от времени. Ответ на этот вопрос публиковать где либо строжайше запрещено правилами КОЛХОЗа). Все подробности - читайте соответствующие топики на Ру-Борде, раздел eBookz Возможно, наиболее полная коллекция имеющейся в сети естественнонаучной литературы. Ещё зеркало: <http://lib.homelinux.org/>.

Филиал библиотеки Колхоза на homelinux <http://lib.homelinux.org/> Большое число книг по физике, химии, математике в формате djvu.

НеХудожественная библиотека <http://nehudlit.ru/> Большая научно-техническая библиотека. На любой вкус и цвет.

Библиотека Хаоса <http://chaos.dvo.ru/lib.htm> Книги и лучшие учебники для высшей школы по современному естествознанию, математике, физике, химии, философии и кое-чего по языкам. Для просмотра скаченных файлов, которые идут в формате .djvu, надо установить надстройку к браузеру. Прочитать и скачать можно на <http://www.computerra.ru/gid/rtfm/office/38885/>

Эврика <http://evrika.tsi.lv/center.php> научный портал (Латвия)

Частная научная библиотека <http://www.vilenin.narod.ru/Mm/Books/Books.htm> Большое количество книг по математике и физике: математический анализ, дифференциальные уравнения, дифференциальная геометрия и топология, мат. физика, теоретическая механика, теория колебаний, устойчивости и катастроф и т. д.

Библиотеки, содержащие физико-математическую литературу
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/otherlibs.htm>

Электронная библиотека «Наука и техника» <http://n-t.ru/> Электронные версии научно-популярных журналов, избранные статьи, электронные версии редких книг, статьи о Нобелевских лауреатах.

Библиотека научной и справочной литературы Homelab Ресурс ориентирован на практическое применение знаний. Для перехода скопируйте ссылку в адресную строку браузера!
<http://ca.geocities.com/homelab@rogers.com/library.html>

Физико-математическая литература http://publ.lib.ru/ARCHIVES/_NIT_MAT/_Nit_mat.html

Гора знаний – «Либрус» <http://librus.ru/> Систематизированное собрание ссылок на научно-технические электронные книги и периодику в сети (более 6000 ссылок).

Каталог книг http://lib.walla.ru/?cat_id=4 Книги по разным естественно-научным и гуманитарным дисциплинам

Энциклопедия «Кругосвет» <http://www.krugosvet.ru/> является дополненным и исправленным переводом «Энциклопедии Колъера» (Collier's Encyclopedia), вышедшей в США в 1952-1998 гг.

Электронная библиотека школьных учебников <http://www.shkola2.com/>

Российская наука в Интернет <http://rusnauka.narod.ru> Цель данного проекта: предоставить возможность публикации своих работ в сети. Дать централизованную и полную информацию о научных работах всех российских специалистов. Оказать помощь ученым, ищущим необходимую информацию. Создать возможность через нас свободно размещать объявления и предложения в Интернет. Формирование почвы для сотрудничества. Проводить виртуальные конференции, обсуждать спорные темы, объединять исследователей, получать решения общими усилиями. На сайте размещаются статьи по физике, философии, математике, биографии.

Новости науки <http://www.scientific.ru/journal/news.html> Электронный научный журнал о новейших достижениях и открытиях в различных областях науки, опубликованных за текущий год. Снимки телескопа Хаббла, обзор публикаций по космогонии.

Поиск статей на сайтах научных издательств

Издательство Elsevier Поиск по журналам издательства Elsevier (*Physics Letters A, Physica D* etc.)

Издательство Springer Поиск по журналам издательства Springer (*Biological Cybernetics*).

Издательство Blackwell Publishers Поиск по журналам издательства Blackwell Publishers.

Журналы, издаваемые институтом Иоффе Журналы: ЖТФ, Письма в ЖТФ, Физика твердого тела, Физика и техника полупроводников. Имеется поисковая система по заголовкам, авторам и аннотациям статей (без словоформ). Статьи доступны для бесплатного скачивания.

Издательство World Scientific Publishing Поиск по журналам издательства (например, *International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Science and Engineering*).

3.3 Источники информации по конкретным наукам

3.3.1 Математика

MathWorld <http://mathworld.wolfram.com/> – интерактивная математическая энциклопедия – наиболее полный

математический ресурс в Интернете. Это всеобъемлющая и взаимосвязанная математическая энциклопедия, предназначенная для студентов, аспирантов, профессиональных математиков и математиков-любителей. Разделы: *Algebra Applied Mathematics Calculus and Analysis Discrete Mathematics Foundations of Mathematics Geometry History and Terminology Number Theory Probability and Statistics Recreational Mathematics Topology The Cornell University Library: Historical Mathematics Monographs* Английские книги по математике <http://historical.library.cornell.edu/math>

Zentralblatt MATH database <http://www.zentralblatt-math.org/zmath/en/> Поиск математических статей начиная с 1931 года. База данных создана Европейским математическим обществом и Гейдельбергской Академией наук. Содержит более 1.8 млн. документов.

EULER search engine <http://www.emis.de/projects/EULER/> Поисковая система для математической литературы. Обещает стать крупнейшим поисковиком в этой области. Данные будут предоставлены упоминавшейся выше службой Zentralblatt MATH и рядом других математических библиотек и электронных архивов.

MathSearch <http://www.maths.usyd.edu.au/MathSearch.html> Поисковая система, специализирующаяся на сайтах и статьях по математике и статистике. Создана сиднейским университетом. База данных содержит 300 тыс. документов.

Directory of Mathematics Preprint and e-Print Servers <http://www.ams.org/global-preprints/> Каталог ссылок на архивы препринтов и электронных публикаций по математике. Создатели ставят своей целью собрать данные обо всех подобных ресурсах по всему миру.

VILenin's HomePage <http://sky.kuban.ru/Phys-Math/vilenin/Mm/Books/Books.htm> Большое количество книг по математике и физике: математический анализ, дифференциальные уравнения, дифференциальная геометрия и топология, мат. физика, теоретическая механика, теория колебаний, устойчивости и катастроф и т. д. Всего 212 наименований. Такое впечатление, что человек отсканировал всю свою домашнюю научную библиотеку. Не все книги доступны для непосредственного скачивания, но автор обещает выкладывать их по просьбе посетителей.

Математическая генеалогия - сетевая база данных, которая выдаёт академическую родословную конкретного математика, как современного, так и жившего в прошлые века. При этом математик X считается прямым академическим потомком математика Y , если Y был научным руководителем кандидатской диссертации математика X . Для зарубежных математиков вместо кандидатской диссертации используются такие её аналоги как *Ph.D.* или *D.S.* Проект работает в Интернете с 1997, базируется в университете Северной Дакоты, полностью бесплатен для пользователей. Кроме того, каждый желающий может пополнить его новыми данными.

Адрес: <http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/>

Энциклопедия целочисленных последовательностей (*On-Line Encyclopedia of Integer Sequences, OEIS*) - интернет-ресурс, посвящённый целочисленным последовательностям. Автор и хранитель сайта - Нейл Слоан. Адрес: <http://www.research.att.com/~njas/sequences/> На русском языке: <http://www.research.att.com/~njas/sequences/index.html?language=russian>

EqWorld Мир Математических Уравнений

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/handbooks.htm> - Общие и специальные справочники и энциклопедии по математике на русском языке.

3.3.2 Физика

Particle Data Group – сайт, содержащий сводные таблицы свойств элементарных частиц, а также атомные и ядерные свойства элементов

Адрес: <http://pdg.lbl.gov/>

National Nuclear Data Center - свойства изотопов, структура ядер, типы распада, ядерные реакции и другие данные, относящиеся к ядерной физике.

Адрес: <http://www.nndc.bnl.gov/>

Ядерная физика в Интернете – сайт, проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ при поддержке НИИЯФ МГУ.

Адрес: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

Библиотека МИФИ <http://www.library.mephi.ru/> Электронные каталоги НБ МИФИ: поиск, заказ литературы; просмотр личного формуляра; доступ к полным текстам статей для авторизованных пользователей.

Библиотека по молекулярной физике <http://physics-of-molecules.odessit.org/library/books/>

Физическая энциклопедия - ФИЗИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ *OnLine*, 1988, 5 томов

Адрес: <http://physicum.narod.ru/>

Таблица изотопов – адрес: <http://nrd.pnpi.spb.ru/RNDC/russian/service/isotopes.html> Сайт - ОАО «Всероссийское объединение «**Изотоп**», адрес: <http://www.isotop.ru/>

Дополнительные данные по ядерной физике можно найти по ссылке <http://nuclphys.sinp.msu.ru/links/yellow-pages.htm> Сайты журналов с оглавлениями <http://nuclphys.sinp.msu.ru/links/journals.html#toc>, сайты журналов без оглавлений <http://nuclphys.sinp.msu.ru/links/journals.html#notoc>, лабораторные отчёты <http://nuclphys.sinp.msu.ru/links/journals.html#lab>

Энциклопедия «Физика в Интернете» <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/> Статьи, лекции, ссылки по некоторым разделам физики на русском и английском. Ядерной физики, к сожалению, нет.

Ядерная физика в Интернете! <http://nuclphys.sinp.msu.ru/> Книги, материалы спецкурсов, справочные материалы, полезные ссылки. В том числе: список исследовательских центров и университетов, список исследовательских центров по физике высоких энергий, ядерные данные, физические журналы и отчеты лабораторий, учебные сайты по физике высоких энергий, Объединение Молодых Ученых и Специалистов (ОМУС) Объединенного Института Ядерных Исследований, библиотека.

Успехи физических наук <http://ufn.ru/> архив журнала за все годы + новые книги

«Росатом» - Государственная корпорация по атомной энергии Официальный сайт <http://www.rosatom.ru/>. Разделы сайта: Госкорпорация «Росатом», Прикладная и фундаментальная наука, Ядерный оружейный комплекс, Ядерная и радиационная безопасность, Ядерный энергетический комплекс, Атомный ледокольный флот. Обширная информация по освоению ядерной энергии в СССР и России, сведения по прикладной ядерной физике и энергетике.

Ядерное оружие: полная энциклопедия. Адрес сайта: <http://nuclear-weapons.nm.ru/>. История создание, устройство атомной и водородной бомб, испытания и многое другое.

Ядерная академия. Сайт <http://www.dya.ru/> (Ранее – детская ядерная академия). Материалы по теме ЯДЕРНАЯ СФЕРА, ядерная энциклопедия, журнал «Энергия жизни», конкурс проектов.

Физические библиотеки

Физика в БНБ Раздел физики в Большой научной библиотеке, содержит более 200 книг.

Физика в библиотеке "Колхоза"

Физика в Alexandria eLibrary Более тысячи книг по физике.

3.3.3 Химия

Кембриджская база данных химических веществ - можно узнать формулу, химические и физические свойства практически всех известных химических веществ. Авторитетнейший сайт со всей последней информацией о химических элементах

XuMuK.ru <http://www.xumuk.ru/> – сайт о химии. Химии: неорганическая, органическая, коллоидная, биологическая, биохимия, токсикология, экологическая химия; База знаний: Химическая энциклопедия Справочник по веществам, Таблица Д.И. Менделеева, Гетероциклические соединения, Теплотехника, Углеводы, Квантохимические расчёты, Математическое моделирование, ХТС; Сервисы: неорганические реакции, молекулярные массы, форматирование формул, редактор формул, уравнивание реакций; Обмен знаниями: форум Химия в жизни: каталог предприятий; Дополнительно: лекарственные средства, Фармацевтический справочник, биохимический справочник, стандартизация.

Avaxhome <http://avaxhome.ws/> - на сайте есть ссылки на большое количество научных и художественных книг, программ, фильмов. Много хороших книг по химии. Преимущественно на английском языке. Но есть на русском и других языках. Сайт активно пополняется. Для скачивания книг регистрация не обязательна.

Русхим. Часть 2 Электронная библиотека по химии и технике. Много интересных и нужных книг. <http://rzv073.rz.tu-bs.de/bib/dir2/Books/Chembooks2/chembooks2.htm>

Химия и Токсикология - форум Химия и Токсикология, который посвящен обмену книгами. Много интересных и полезных ссылок. Русскоязычные и новейшие англоязычные книги. Для участия в работе форума необходима регистрация. <http://chemister.pp.ru/cgi-bin/ikonboard/forums.cgi?forum=2>

Iprit.ru Неплохая химическая библиотека. Есть также полезные информационные материалы. Адрес: <http://www.iprit.ru/library2>

Engenegr.ru Книги по химической технологии. Есть распознанная химическая энциклопедия. Кроме химических на сайте есть много книг по другим дисциплинам. Для доступа к ссылкам необходима регистрация. Адрес: http://engenegr.ru/tehnicheskaya_literatura/himicheskie_tehnologii/

Все самые авторитетные справочники и энциклопедии по химии можно найти на сайте по адресу: <http://rzv073.rz.tu-bs.de/bib/> . Все книги в формате djvu

ChemIndustry.com - The worldwide search engine of the chemical industry <http://www.chemindustry.com/>

Поисковая система по химическим ресурсам.

Книги на www.chemport.ru Ссылки на доступные в интернете книги по всем разделам химии.

Электронная библиотека учебных материалов по химии <http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/> Химический факультет МГУ

Электронная библиотека по химии и технике <http://rushim.ru/books/books.htm> Библиотека содержит более тысячи книг по химии. *Все книги, находящиеся в данной библиотеке, предназначены только для прочтения. После прочтения, согласно закону, вы должны удалить файл с вашего компьютера! Для просмотра файлов с расширением djvu вам будет необходимо установить плагин к Internet Explorer, который бесплатно можно взять с этих адресов: www.djvu.com/cgi-bin/products/products.pl или www.lizardtech.com или с сайта <http://www.djvu-soft.narod.ru>.*

Химическая энциклопедия (5 томов) находится по адресу: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/>

Приведём некоторые полезные ссылки:

<http://www.chemweb.com/> - Базы данных по химии. Анонсы симпозиумов и научных конференций. Учебники по химии. На английском языке.

<http://www.chem.msu.su/rus/elbibch.html> - Каталог библиотеки Химфака МГУ. Журналы, базы данных, книги, аналитические обзоры, учебники, сборники задач.

<http://www.chem.msu.su/rus/jlib/welcome.html> - Библиотека химического факультета МГУ. Сведения о журналах на русском и иностранных языках. Доступные базы данных по химической тематике.

<http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/> - Электронная библиотека по химии - Монографии, учебники, химические журналы и учебные базы данных по химическим элементам и соединениям. Каталог журналов и баз данных из универсальной факультетской библиотеки МГУ.

<http://www.catalysis.nsk.su/internet/webchem.html> - «Web-химия» - Здесь собраны ссылки на химические ресурсы Интернет всего мира.

<http://www.radio.chem.msu.ru/> - Кафедра радиохимии химфака МГУ - разнообразная информация по химии. Тексты статей и публикаций по химии.

<http://www.catalysis.nsk.su/chem/internet/> - Химия в Интернет. Большое количество аннотированных ссылок.

<http://www.chem.ac.ru/> - Подборка ссылок на электронные базы данных химической информации: библиотеки, энциклопедии, материалы конференций. На английском языке.

<http://www.chem.ucla.edu/chempointers.html> - Химия - Интернет каталог ссылок на ресурсы о химии. Разделы: базы данных, библиотеки, журналы, конференции, материаловедение, организации. На английском языке.

<http://markovsky.virtualave.net/chemonline/> - Здесь размещен каталог ссылок на ресурсы Интернет, связанные с химией.

<http://www.chemnet.ru/rus/teaching/kabakchi/welcome.html> - «Радиационная химия в ядерном топливном цикле» - Учебное пособие.

<http://www.csc.fi/chem/gallery.phtml> - Галерея химического искусства, где представлены визуальные изображения и анимация в области химии. На английском языке.

ChemPhysLib books fip.kinetics.nsc.ru/chichinin/rbooks.htm Достаточно большое собрание доступных для скачивания книг по химии и химической физике. Отдельный раздел посвящен химии и физике аэрозолей. Также имеются книги по физике, математике и программированию.

Курсы лекций: **Радиохимия, химия радиоактивных элементов** (Уран, Плутоний, Нептуний, Радон),

Ядерная индустрия можно найти на сайте <http://profbeckman.narod.ru>

Химические библиотеки:

ChemPhysLib Books Книги по химии и химической физике, отдельный раздел посвящен химии и физике аэрозолей.

Электронная библиотека по химии и технике Более 1100 книг по химии.

Химия в БНБ Раздел химии в Большой научной библиотеке, содержит более 700 книг

Книги по химии в Интернете: Amazon.com - Крупнейший сайт книготорговли по Интернету: »»» Химия; Barnes & Noble; Book Finder Academic Book Center Книги издательства "МИР" »»» Книги по химии Эдиториал УРСС - Интернет-магазин редких книг (цены высокие): »»» Химия ... »»» Органическая химия Chemophilia.nm.ru - книги по Химии: поиск, заказ, доставка. Распечатка электронных книг Vova1001.narod.ru - редкие книги по различным направлениям: »»» Химия Bookshop.h1.ru/144-1.shtml - Книги по химии BuyBook.ru - Книги по химии Ozon.ru... - Книги по химии в интернет-магазине Озон.

Электронные книги по химии: Poiskknig.ru - Поиск электронных книг по химии Chaos.dvo.ru/chem.htm - Электронные книги по химии Электронная библиотека - СОТНИ книг по различным областям химии; заказ CD Rushim.ru/books/books.htm - Сотни книг по химии http://lib.org.by/_djvu/Ch_Chemistry - Книги по химии Lib.homelinux.org/Chemistry - Филиал "Библиотеки колхоза" - Книги по химии Chemport.ru/?cid=29 - Библиотека книг по химии на сайте Chemport.ru

3.3.4 INIS

IAEA - Международная ядерная информационная система (*International Nuclear Information System, INIS*) и Управление ядерными знаниями (*Nuclear Knowledge Management, NKM*) Секция ядерной информации и знаний для мирного использования ядерной энергии (*Section Nuclear Information and Knowledge for peaceful uses of nuclear science and technology*).

INIS основан в 1970 с целью создания банка ядерной информации для государств - членов МАГАТЭ. Продуктами *INIS* являются: *INIS* база данных, содержащая 3 миллиона библиографических карточек, доступных только для подписчиков (1,3 миллиона авторизованных пользователей). Коллекция 850000 полно-текстных документов на 63 языках, включая документы которые трудно найти где-либо ещё. *INIS* – многоязычный словарь – основной инструмент описания ядерной информации и знания в структурированной форме, который помогает в многоязыковом и семантическом поиске. Производитель: *International Cooperation coordinated by the International Atomic Energy Agency, Austria*. Язык: Английский; некоторые рефераты на англ., нем. или франц.

INIS охватывает мировую литературу по ядерным исследованиям и технологиям. Темы включают утилизацию отходов, мониторинг и контроль безопасности, применение изотопов и радиации в медицине и сельском хозяйстве, ядерные реакторы. Источники - журналы, отчеты, труды конференций, книги и патенты. *INIS* доступен только в странах - членах *INIS*, но не в США. Поиск можно проводить по библиографической информации, рефератам, индексируемым и элементным терминам.

3.3.5 Сайты и блог лектора

Автор данного курса лекций – проф. Игорь Н. Бекман – располагает в Интернете двумя сайтами и блогом <http://kernatom.livejournal.com>. На официальном сайте <http://www.chem.msu.su/rus/radio/ecol/welcome.html> представлена информация об учебном процессе на кафедре радиохимии химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, содержание, аннотации и планы курсов лекций, читаемых проф. Бекманом в МГУ и информация о работе группы Экологическая радиохимия. На личном сайте: <http://profbeckman.narod.ru> имеются разделы: биография, семья, наука, промышленность, лекции, опубликованные статьи, изобретения, монографии, диссертации, рассказы, творчество друзей, Бекман-бренд (история фамилии), фото, путешествия, научно-популярное, школа, переводы некоторых книг и др. На сайте представлены полные курсы лекций по ядерной сфере (Радиохимия, Ядерная индустрия, Радиоэкологическая химия и радиоэкология, Радиоактивность и радиации, Ядерная медицина, Методы регистрации ионизирующих излучений, Радон: враг, врач, волонтер, Информационные технологии в радиохимии и др.), по информатике и компьютерным технологиям по диффузии (математика диффузии и связанные с этим предметом учебные пособия), а также содержание и аннотации лекций по материаловедению, экологии и новым технологиям. Кроме того, имеются монографии, обзоры и учебные пособия: Обработка результатов диффузионных экспериментов, Теория диффузии в дисперсионных средах, Исследование водородопроницаемости в технологии производства изделий электронной техники, Предисловие переводчика и дополнительные главы к монографии Эманионно-термический анализ, Феноменологическое описание диффузии в дефектных средах, Феноменологическая теория диффузии в гетерогенных средах и её применение для описания процессов мембранного разделения, Unusual membrane processes: non-steady state regims, nonhomogeneous and moving membranes, Диффузионные процессы при механических воздействиях на материал, Диффузионно-структурный анализ, Концентрационные волны, Метод частотных характеристик, Эманирование твёрдых тел, радиоактивные элементы (Уран, Нептуний, Плутоний).

4. ИТЕРНЕТ ОБРАЗОВАНИЕ

Интернет образование в Сети представлено очень широко: лекции, практикумы, семинары, учебники учебные пособия, практикумы, рефераты, курсовые работы, дипломы, диссертации, учебно-образовательные и развивающие игры, учебные кинофильмы и т.д. и т.п. Существуют письменные, аудио- и видео- материалы учебной направленности. Чуть ли не на всех языках мира. Конечно, основная направленность – школьное образование, но ВУЗовское образование тоже присутствует, есть и элементы сквозного образования – от яслей до гробовой доски. В Интернете существуют чаты, форумы, блоки, сайты и целые образовательные порталы.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ

<http://www.informika.ru/text/index.html> “Информика”. Сервер Министерства образования РФ и ГосНИИ Информационных технологий и телекоммуникаций. На сервере представлена разнообразная информация по

всем аспектам образования (нормативная и законодательная база, обучающие ресурсы, информационные технологии, информация о конкурсах и грантах и многое другое). Организована система поиска по серверу. <http://www.educom.ru/> **Департамент образования г. Москвы.** Официальный сервер. Освещаются все аспекты образования в Москве: среднее и высшее образование, государственные и негосударственные учебные заведения, дополнительное образование, международные и межнациональные программы. На сервере представлены нормативные документы, методики, подборки и публикации, описание новых технологий в образовании и многое другое.

<http://www.fio.ru/> **Федерация Интернет образования.** Сайт посвящен использованию возможностей сети Интернет в российском образовании. Проект «Поколение.ру», цель которого – ускорение развития Интернет-образования в России, обучение школьных учителей использованию Интернет-технологий в их профессиональной деятельности. Отсылки на другие проекты ФИО: «Учитель.ру», «Родитель.ру», «Teen.ru», «Писатель.ру», «Библиотекарь.ру» и др.

http://www.maro.org.ru/ro_rus.htm **Международная Ассоциация "Развивающее обучение" (МАРО).** Официальный сайт организации. На сайте имеются публикации научной лаборатории Ассоциации, информация об олимпиадах РО, информация о проектах и изданиях МАРО.

<http://www.ethos.narod.ru/> **Сайт Лаборатории воспитания нравственно-этической культуры ГосНИИ семьи и воспитания РАО.** На сайте представлена программа по этическому воспитанию, включающая в себя поурочные разработки этических занятий и внеурочную деятельность. Имеется также информация о методической литературе, статьи пробного номера журнала «Этическое воспитание».

<http://ismo.ioso.ru/> **Институт содержания и методов обучения РАО.** Информация об истории и структуре института, об основных направлениях исследований, проводимых мероприятиях. Информация диссертационных и ученых советов. Обсуждение актуальных проблем, таких как 12-летняя школа, образовательные стандарты, дистанционная работа с регионами.

<http://www.mediaeducation.ru/> **Лаборатория ТСО и медиаобразования ИОСО РАО.** Сайт посвящен проблемам медиаобразования, интегрированного в базовое образование. Обзор образовательных ресурсов и публикаций по данной теме, краткий словарь терминов, относящихся к медиаобразованию.

<http://why.botik.ru/welcome.ru.html> **«Учком».** Лаборатория учебных коммуникаций Института программных систем РАН. Опубликованы статьи и доклады сотрудников лаборатории в 1993-2000 годах; в «библиотеке» содержатся тексты, отражающие эволюцию мира природы и человеческой мысли; представлены междисциплинарные проекты различных сообществ, созданных сотрудниками лаборатории, таких как «Виртуальная Пустынь» (сообщество летних экологических школ), Репвеб (сообщество специалистов, использующих технологию репертуарных решеток), Лого-сообщество и др.

<http://mo.mosreg.ru/> **Министерство образования Московской области.** Цель сайта - повышение уровня информационной открытости и доступности в деятельности органов государственной власти. На сайте можно найти подробную информацию о структуре и деятельности Министерства, ознакомиться с ситуацией в сфере деятельности и в сфере работ и социального развития на данный момент. Разделы сайта: практика педагогической деятельности, работа с обращениями граждан, обеспечение безопасности жизнедеятельности, нормативные документы, инновационная деятельность и др.

<http://www.rsci.ru/> **НТ-Информ.** Информационный интернет канал, являющийся партнером Фонда нобелевского лауреата академика В.Л. Гинзбурга и участвующий в реализации программ «Интеллектуальный лидер», «Стратегическая Образовательная Инициатива» и «ПРОСВЕЩЕНИЕ». Представлена информация о грантах, конкурсах и конференциях; новости научно-популярных СМИ; информационный проект «Бизнес и наука»; публикации об образовании, науке, технологиям и инновациям.

Основные Федеральные информационно-образовательные ресурсы России в Интернете можно найти на странице <http://katalog.iot.ru/index.php?cat=41>

Министерство образования и науки Российской Федерации организовало и поддерживает портал ФЦИОР – Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов <http://fcior.edu.ru/wps/portal/main> ФЦИОР обеспечивает доступность и эффективность использования электронных образовательных ресурсов для всех уровней и объектов системы образования РФ. ФЦИОР реализует концепцию «единого окна» для доступа к любым электронным образовательным ресурсам системы образования РФ и предоставление единой современной технологической платформы для существующих и вновь создаваемых электронных образовательных ресурсов. Данный портал является окном доступа к центральному хранилищу электронных образовательных ресурсов (ЭОР), обеспечивающего хранение 6 типов ЭОР:

- ☐ 1. Электронные учебные модули Открытых Мультимедиа Систем (ОМС)
- ☐ 2. Электронные учебные модули Виртуальных Коллективных Сред (ВКС)
- ☐ 3. ЭОР на локальных носителях

- 4. Текстографические сетевые ЭОР
- 5. ЭОР на базе *flash*-технологий
- 6. ЭОР на базе *java*-технологий

Несмотря на различные характеристики, все ЭОР описываются с помощью единой информационной модели метаданных, основанной на стандарте *LOM*. Единая модель описания ЭОР позволяет использовать единые механизмы для организации их хранения и доступа к ним. Доступ к ЭОР организуется через Каталог ЭОР и средства Поиска. Раздел Помощь содержит разнообразную справочную и методическую информацию для пользователей и разработчиков ЭОР. Основная направленность портала ФЦИОР - школьное образование.

Федеральный портал Российское образование направлен на обучение школьников и подготовку абитуриентов к поступлению в ВУЗ имеет единое окно доступа к образовательным ресурсам и электронным библиотекам <http://window.edu.ru/window> Важным разделом является информатика и информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) глобального информационного общества.

В России одно время активно развивалась автономная некоммерческая организация «ФЕДЕРАЦИЯ ИНТЕРНЕТ ОБРАЗОВАНИЯ» (ФИО) созданная в 2000 Её цель - содействие развитию Интернет-образования в России www.fio.ru. Основной проект федерации – «Поколение.ру», Это проект Нефтяной компании ЮКОС. Суть проекта - организация обучения работников среднего образования использованию Интернет-технологий в своей повседневной работе. В рамках проекта Поколение.ru в 2005 на территории России работало 50 региональных центров ФИО.

Перечислим некоторые Российские федеральные общеобразовательные порталы и сайты.

- [edu](http://edu.ru) – «Российское образование» Федеральный портал. Каталог образовательных интернет-ресурсов: Российское образование. Законодательство. Нормативные документы и стандарты. Образовательные учреждения. Каталог сайтов (можно выбрать: предмет, аудитория, уровень образования, тип ресурса) и электронных библиотек. Учебно-методическая библиотека.
 - edu.ru - ресурсы портала для общего образования
- [school.edu](http://school.edu.ru) – «Российский общеобразовательный портал». Каталог интернет-ресурсов: дошкольное образование; начальное и общее образование; дистанционное обучение; педагогика; повышение квалификации; справочно-информационные источники.
- [ege.edu](http://ege.edu.ru) – «Портал информационной поддержки Единого Государственного экзамена» Новости. Нормативные документы. Демонверсии. Предварительные результаты ЕГЭ.
- [en.edu](http://en.edu.ru) – «Естественно-научный образовательный портал» Является составной частью федерального портала «Российское образование». Содержит ресурсы и ссылки на ресурсы по естественно-научным дисциплинам (математика, физика, химия и биология). (Включает ресурсы для высшего и среднего школьного образования.)
- [ict.edu](http://ict.edu.ru) - портал «Информационно-коммуникационные технологии по информатике» Библиотека (учебные и учебно-методические материалы), Интернет-ресурсы (описание сайтов и ссылки) и др. (По сути это ресурсы по предмету «Информатика» для школы и вузов.)
- [vidod.edu](http://vidod.edu.ru) - федеральный портал «Дополнительное образование детей». Федеральные и межведомственные программы, Нормативно-правовое и научно-методическое обеспечение, Литература и другие средства и ресурсы обучения.
- [school-collection.edu](http://school-collection.edu.ru) - Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Коллекция включает в себя разнообразные цифровые образовательные ресурсы, методические материалы, тематические коллекции, инструменты (программные средства) для поддержки учебной деятельности и организации учебного процесса.
- fciog.edu.ru - Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов. Обеспечивает доступность и эффективность использования электронных образовательных ресурсов для всех уровней и объектов системы образования РФ. Реализует концепцию «единого окна» для доступа к любым электронным образовательным ресурсам системы образования РФ.
- [comparative.edu](http://comparative.edu.ru) - федеральный портал «Сравнительная образовательная политика» Структура, содержание и качество образования, нормативно-правовая база, управление, финансирование и многое др.
- [neo.edu](http://neo.edu.ru) - федеральный портал «Непрерывное образование преподавателей». Обучение, Педагогика в Интернете, Библиотека и др.
- [fipi](http://fipi.ru) ФИПИ - федеральный институт педагогических измерений. ЕГЭ - контрольно измерительные материалы (демо ЕГЭ); Федеральный банк тестовых заданий (открытый сегмент); Научно-исследовательская работа; Повышение квалификации.
- [ed.gov](http://ed.gov.ru) – «Федеральное агентство по образованию РФ». - Управление образованием. Обеспечение учебного процесса (нормативно-правовые документы; Информация; Новости; Статистика и др.).

- obrnadzor.gov – «Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки». - Официальные документы. Надзор. Контроль качества образования (ЕГЭ). Лицензирование. Аттестация.
- mon.gov - Официальный сайт Министерства образования и науки Российской Федерации.
- rost.ru/projects - Национальный проект «Образование».
- fio - "Федерации Интернет-образования". В рамках этого проекта, например:
- new.teacher.fio – «Учитель.ру» - Федерация Интернет-образования. - Новости; Электронный журнал «Вопросы Интернет-образования»; Общественный рейтинг интернет-ресурсов; Документы; Книги учителю; Публикации.
- som.fsio – «В помощь Учителю» СОМ (сетевое объединение методистов). Московский центр интернет-образования. Отдельные разделы по всем предметам школьной программы (английский, астрономия, биология, физика, химия и др.). Каждый раздел включает подборки материалов и конкретные ссылки по темам: Образовательные программы по предмету; К уроку готовы; Книжный компас; Новости.
- vio.fio «Вопросы Интернет-образования» - электронный журнал, статьи по методике и дидактике обучения с использованием информационных технологий (статьи-рекомендации, статьи практиков о собственных методах и приемах, статьи-наблюдения), конкурсы, форум.
- teen.fio – «Тинейджер.ру» Ресурс для школьников. Если выбрать раздел «Школа», то можно найти интересные ссылки по различным школьным предметам.
- parent.fio – «Родитель.ру» Ресурс для родителей. В частности как выбрать ВУЗ и др.
- center.fio - Московский центр Интернет-образования
- edunews – «Всё для поступающих» Основные разделы портала: Школьникам и дошкольникам; Абитуриентам и студентам; Экзамены и тесты; Дополнительное образование. Тематические ссылки на образовательные ресурсы и сами учебные материалы на сайте.
- window.edu.ru - Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Тематический каталог образовательных ресурсов.
- examen – «Все о высшем образовании». Справочная информация: Обучение в России; Обучение за рубежом; Подготовка к поступлению; Юридическая информация. Раздел "ЕГЭ и подготовка к поступлению" examen.ru - подразделы: Вступительные экзамены; База знаний De Facto; ЕГЭ; Подготовительные курсы; Тесты (необходима регистрация).
- Портал «ВСЕОБУЧ» - справочно-информационный образовательный сайт по всем видам образовательных учреждений Москвы и регионов России. Поиск, рейтинг, отзывы, комментарии.
- allbest – «Союз образовательных сайтов» - Каталог образовательных ресурсов: сайты, библиотеки, коллекции рефератов.
- uroki.ru = ucheba.com - Образовательный портал «Учёба». Для тех, кто учится и учит. - Экзамены. Тематические планы. Поурочное планирование. Методическая копилка. Информационные технологии в школе. Полезные ссылки.
- college - Образовательный портал. «Открытый колледж». Разделы: Астрономия, Биология, География, Математика, Физика, Химия. Новости. Практикум. Тестирование. Учителю college.ru - стандарты образования, учебные планы, методические разработки, обмен опытом.
- 1september - Издательский дом «Первое сентября». Раздел «Периодические издания» - предметы школьной программы. По одним предметам существует два сайта - электронная версия газеты и сайт для учителя «Я иду на урок по...», по другим предметам - только электронная версия газеты (причем, чаще, самих статей нет в свободном доступе). Плюс образовательные проекты.
- festival.1september - учителям - Фестиваль педагогических идей «Открытый урок». Большая коллекция публикаций по методикам преподавания всех предметов школьной программы: преподавание математики, физики, русского языка, литературы, в начальной школе, иностранных языков и т.д. по всем предметам и вопросам.
- pedsovet – «Всероссийский Интернет-педсовет» (вместо существовавшего ранее «Всё образование Интернета») - новости, методика и опыт преподавания учебных предметов, педагогические технологии, учебные заведения, уровни и ступени образования, органы управления образованием, образовательные сообщества и др.
- newseducation.ru – «Большая перемена» - мир «Образование»
- vipschool.ru СУНЦ МГУ - Специализированный учебно-научный центр - школа имени А.Н. Колмогорова.
- websib НООС - Новосибирская Открытая Образовательная Сеть (Национальный проект «Образование»). О программе развития образования. Образовательные учреждения и органы управления. Подборки материалов (статьи, ссылки, методички по всем предметам школьной программы.)
- ucheba.ru "Учеба.Ru" - портал, посвященный обучению и образованию, содержащий информацию о

лучших ВУЗах, школах, лицеях, детских садах Москвы и России. Образование за рубежом, рейтинги учебных заведений и предложения от репетиторов. Рефераты, сочинения.

- ug.ru – «Учительская газета» (электронная версия).
- courier.com - электронный журнал «Курьер образования» Электронный журнал для директоров образовательных учреждений, их заместителей, работников отделов образования. (от издательской фирмы «Сентябрь» direktor.ru)
- [s-cool](http://s-cool.ru) – «S-COOL.RU» Школьный образовательный проект. Новости, статьи, форумы.
- ht.ru - "Профориентация" - выбор профессии, Вуза, школы, тесты профориентации, консультации.
- [direktor](http://direktor.ru) - можно скачать материалы из журнала «Практика административной работы в школе».
- [inform.direktor](http://inform.direktor.ru) – «Информационные технологии в управлении школой».
- argusm.com - Автоматизированная система интерактивного контроля знаний «Аргус-М» создана в 2006.

Предназначена для проведения аттестаций в любых образовательных учреждениях (ВУЗах, колледжах, школах), а также организациях как с целью контроля знаний, так и с обучающими целями. Область применения системы не ограничена никакими рамками.

[teachpro](http://teachpro.ru) – «TeachPro – Дистанционное обучение» - компания «Мультимедиа Технологии и Дистанционное Обучение» предлагает *Web*-версии и *FTP*-версии обучающих программ *TeachPro*.

<http://teacher.fio.ru/> - Учитель.ру: проект Федерации интернет-образования. Материалы для учителей (статьи, конкурсы, справочная информация). Подборка методик, учебников и интернет-уроков по школьным предметам. Сведения о книжных новинках для педагогов. Юридическая консультация. Форумы по организации интернет-образования в школе.

Наряду с традиционными формами получения высшего и второго высшего образования - очной и заочной – в последнее время все большее распространение получает такая инновационная форма как **дистанционное обучение** или интернет-обучение <http://www.e-college.ru>. Новая для нас подобная форма обучения – *elearning* - давно используется на Западе, где на практике доказана её эффективность. Дистанционное обучение даёт возможность получить высшее и второе высшее образование без отрыва от работы, в любой точке нашей страны и зарубежья, при этом качество полученных знаний находится на самом высоком уровне. Неудивительно, что институт дистанционного образования получает в нашей стране всё большее распространение. В отличие от заочного обучения дистанционное обучение даёт возможность учиться, находясь на любом расстоянии от учебного заведения. И если при заочном обучении студенту приходится всё же неоднократно приезжать в учебное заведение, то дистанционное обучение позволяет практически полностью этого избежать. Идея дистанционного образования состоит в том, что взаимодействие преподавателя и студента происходит в виртуальном пространстве: оба они находятся за своими компьютерами и общаются посредством Интернета.

В настоящее время многие московские вузы предлагают *elearning* как одну из форм обучения, и второе высшее образование в Москве становится сегодня доступным для каждого. Примером является МИЭМП - Московский институт экономики, менеджмента и права, - который предлагает сегодня всем желающим получить высшее образование путем дистанционного обучения.

Какие преимущества предоставляют сегодня своим студентам дистанционные вузы? Прежде всего, это возможность получить образование в любом месте, независимо от местонахождения студента. Большинство желающих получить второе высшее образование - это работающие люди, и дистанционное образование для них - это единственно приемлемый вариант. Высшее дистанционное обучение выбирают как удобную для себя форму обучения молодые и многодетные матери, инвалиды, лица, ограниченные в своих передвижениях (военнослужащие, люди, работающие вахтовым методом), а также наши соотечественники из стран ближнего и дальнего зарубежья, для которых дистанционный институт является единственной доступной формой обучения на родном языке.

Удобство получения высшего дистанционного образования трудно переоценить. Прежде всего, это значительная экономия средств, включая затраты на дорогу к месту учебы и расходы на проживание в Москве, которые при данном способе получения высшего образования практически полностью исключаются. Проходя интернет-обучение в ВУЗ необходимо явиться лично лишь один раз - для сдачи государственного экзамена и защиты диплома. Среди других преимуществ *elearning* следует отметить возможность получения знаний в удобное для вас время, в оптимальном темпе, зависящем исключительно от вас. И не стоит забывать о качестве знаний, полученных методом интернет-обучения, т.к. слушателю предоставлена консультационная поддержка преподавателей самого высокого уровня. В конце обучения студент получает диплом государственного образца.

Каталог образовательных ресурсов (рефераты, курсовые и дипломные работы) находится на сайте <http://allbest.ru/> там же находится большая электронная библиотека. В основу его создания положена идея

объединения наиболее содержательных и интересных образовательных, научных и информационных сайтов в союз, который будет способствовать их развитию.

В последнее время в Интернете стали распространяться видео-лекции. Этому способствовало создание канала *YouTube Edu* <http://www.youtube.com/edu> 1000 и одна лекция по любым наукам и ещё десяток сайтов для удалённых занятий. Лекции в главном телевизоре интернета показывали всегда. Но их объединили в один раздел *YouTube Edu*. Раньше много времени уходило на поиск роликов. Теперь собраны тысячи видеолекций из 150 лучших учебных заведений мира. В том числе занятия с героями вроде Леонарда Сасскинда, одного из создателей теории струн. Наиболее популярны среди пользователей лекции по точным, естественным и прикладным наукам - каналы Массачусетского технологического института, Гарварда, Беркли, Стэнфорда. Многие лекции организованы в плейлисты, соответствующие учебным курсам.

Academic Earth academicearth.org - главный предшественник *YouTube Edu* по сбору свободного образовательного видеоконтента. Число представленных вузов гораздо меньше, зато все самые лучшие - Беркли, Гарвард, МТИ, Принстон, Стэнфорд и Йель. Сайт содержит 1,5 тыс. лекций по астрономии, биологии, экономике, математике, политическим наукам. Если выбирать между каналом Массачусетского института на *YouTube* и его же лекциями на *Academic Earth*, то преимущество за последним: он симпатичнее, удобнее и не кажется таким перегруженным. Количественное преимущество остается, конечно, за *YouTube Edu*.

Videlectures Videlectures.net Сайт преимущественно для программистов и прочих технарей. Большая коллекция - более полутора тысяч лекций по компьютерным наукам. Среди лекторов - сотрудники *Apple* и *Microsoft*. Разделы гуманитарных наук не так богаты, зато можно найти редкие курсы: чтение каких-нибудь малоизвестных английских поэтов или концерт карнатской музыки (один из основных жанров индийской классической).

Перечислим некоторые курсы американских учёных:

http://www.rambler.ru/click?from=sitereview&_URL=http://athome.harvard.edu/archive. Видеоархив Гарварда. «Позволит испытать волнующие мгновения обучения, исследований и событий, которые отличают университет сегодня.» Все самое актуальное: и лекции о теории струн, и о финансовом кризисе.

Сайт Принстонского университета. Около 300 лекций по общественным дисциплинам на темы типа «Свободная воля и детерминизм в науке и философии». Среди лекторов встречаются Мадлен Олбрайт, Хиллари Клинтон, Мартин Скорсезе.

Education Technology Services. Образовательная программа Беркли. 3,5 тыс. часов образования в виде подкастов, MP3-файлов, потокового видео.

Stanford Engineering. 10 курсов Стэнфордского университета по программированию, введению в робототехнику, методам искусственного интеллекта.

Open Yale Courses. Избранные лекции Йельского университета по астрономии, психологии, философии, религии и кое-чему еще.

Сайт Университета Южной Каролины. Микробиология и иммунология Медицинской школы вуза. В трёх форматах: озвученные слайды, аудиофайлы и видеоролики для айпода.

В рунете видеолекций практически нет, исключение составляют:

Канал на YouTube Северо-западного государственного заочного технического университета. Около 200 роликов по разным предметам.

Видеотека ученых Сибирского отделения Российской академии наук. 12 видеолекций для скачивания. В основном точные дисциплины. Но есть файл с «Поэтическим миром Иосифа Бродского» старшего преподавателя «СУНЦ НГУ Караваевой Т. О.»

Сайт Московского физико-технического института. С десяток занятий из серии «Постановка краевых условий для уравнений параболического типа».

Сайт мехмата МГУ. Кроме лекций там есть ссылка на сайт матэтюдов. «Перелетая из Москвы во Владивосток, самолеты забираются высоко вверх по карте. Зачем делать такой крюк, а не лететь по прямой?» - популярная наука в 3D-схемах.

HSE{tube}. 27 видеозанятий с преподавателями Высшей школы экономики на *Skillopedia.ru*.

В Московском государственном университете существует Центр дистанционного образования в МГУ. Интернет-портал Школы дистанционного образования в МГУ www.distance.msu.ru. В качестве примера общеобразовательных дистанционных программ можно привести программы Факультета наук о материалах: сканирующая зондовая микроскопия, самоорганизация и самосборка в наносистемах, рентгенодифракционные методы исследования, наноматериалы и нанотехнологии, наноматериалы в современных источниках тока, металлокомплексные соединения и органические светодиоды, магнитные структуры и мёсбауэровская спектроскопия и др. Примерами дистанционных подготовительных курсов на

Химическом факультете могут служить: Химия (краткосрочный курс) и Химия. Примеры дистанционные специальных курсов Физического факультета: Параллельное программирование для ресурсоёмких задач численного моделирования в физике, Английский язык для физиков, *LabVIEW* (базовый курс).

Обычно мы думаем о мире, как о составленном из простых, подобных сгусткам, материальных частицах, и под информацией понимаем производную характеристику объекта восприятия, относящуюся к особому рода организованным состояниям вещества. Но возможно, что всё наоборот: похоже, что Вселенная на самом деле – шалость первичной информации, а материальные объекты являются её сложным вторичным проявлением.

П. Дэвис

Информация физична. И дело не только в том, что носителем информации являются физические системы, например, электромагнитное поле в форме видимого света, либо радиоволны. Информация физична в прямом смысле - она сама по себе является объективной физической величиной в ряду других - таких как масса, энергия, импульс и т. д.

Информация - количественная величина, характеризующая систему. Это – обычная физическая величина, которая может принимать различные значения при изменении состояния системы. Подобно тому, как масса тела увеличивается (уменьшается) при наличии массообмена со средой, так и количество информации изменяется, если система взаимодействует с окружением - и всё это объективные процессы, которые не зависят от нашего субъективного мнения. Вероятно ключевой идеей, ведущей к «великому объединению» гравитации и квантовой теории, может стать формулирование взглядов на природу не в терминах материи и энергии, а в терминах информации.

Важно, что в настоящее время уже есть понимание физических процессов (декогеренции), в результате которых появляется материя как «форма организованной информации».

Имея дело с классической информацией, мы отделяем саму информацию от её физического носителя. В результате удаётся приспособить какой-либо материальный объект для хранения (передачи) определенного количества «классической» информации. Получается, что без материального носителя информация не может существовать. В квантовом мире это не так. В квантовой теории с ответом на вопрос, где содержится информация, и что является её носителем всё ясно: поскольку информация - физическая величина, характеризующая систему, то сама система и является носителем квантовой информации. Это всё равно что спросить: а где содержится масса физического тела? Да в нём самом эта масса и содержится, поскольку является одной из количественных характеристик данного тела.

«Информация физична» в прямом смысле - она является источником всех других физических процессов и материальных проявлений, которые могут иметь место в системе. Именно это обстоятельство позволяет перебросить мостик от микромира в макромир Вселенной.

Вселенную удаётся описать в терминах единиц кодированной информации (битов). Такой анализ не заменяет её рассмотрения в рамках обычных понятий, таких как сила и энергия, но позволяет выявить новые факты. Например, в статистической механике этот подход позволил разрешить парадокс максвелловского демона, который, казалось бы, допускает существование вечного двигателя. В последние годы физики используют такой анализ для изучения природы чёрных дыр, тонкой структуры пространства-времени в малых масштабах, космической тёмной энергии и, наконец, самых глубинных законов природы.

Некоторые учёные рассматривают законы физики как компьютерные программы, а Вселенную - как компьютер. Но Вселенная - не просто гигантский компьютер, а гигантский квантовый компьютер. И, как говорит физик П.Цицци «всё - из кубита».

Проиллюстрируем особенности информационного подхода к описанию природы на примерах из сферы квантовой механики и космофизики. При этом мы попытаемся оценить перспективы перехода от квантовой теории информации к теорией гравитации.

1. ИНФОРМАЦИЯ В КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

1.1 Квантовая информация

Новое направление физики - квантовая информация - возникло на стыке квантовой механики, оптики, теории информации и программирования, дискретной математики, лазерной физики и спектроскопии, и включает в себя вопросы квантовых вычислений, квантовых компьютеров, квантовой телепортации и квантовой криптографии, проблемы декогеренции и спектроскопии одиночных молекул и примесных центров.

Исторически квантовая теория информации зародилась при рассмотрении фундаментальных квантовомеханических ограничений. Простейшим из них является известное с 1920-х гг. соотношение неопределенностей Гейзенберга. В 1970-е гг. были установлены более тонкие математические факты, такие

как энтропийное неравенство, ограничивающее сверху количество информации, которое может быть передано носителем, подчиняющимся законам квантовой механики (например, излучением лазера). При этом в 1980-1990-е гг. стало ясно, что квантовая теория не только вводит свои ограничения, но и открывает принципиально новые возможности, такие как квантовая телепортация и другие эффективные коммуникационные протоколы, физически стойкие протоколы квантовой криптографии, эффективные алгоритмы для решения трудных вычислительных задач и др.

В настоящее время наблюдается тенденция переосмысления основополагающих утверждений квантовой теории, сформулированных в период её создания. Связано это с тем, что весьма абстрактные идеи, лежащие в основе квантовой физики, казавшиеся недавно уделом внимания только единиц, оказывается, затрагивают практически всех благодаря новым технологическим возможностям. Квантовые компьютеры, квантовая телепортация, квантовая криптография, возможность наблюдения отдельных атомов, ионов, молекул, в том числе биологически важных, и манипулирования ими - всё это объекты и явления, относящиеся к квантовому миру, который очень непросто воспринимается при оперировании понятиями из окружающего нас классического мира макроскопической физики, и требует для своего описания адекватного языка - языка квантовой механики и квантовой теории поля.

Квантовая информация потребовалась в связи с необходимостью создания сверхбыстрых компьютеров и передачи информации без какой-либо возможности её перехвата.

Фундаментальный носитель информации - электромагнитное поле в форме видимого света, либо радиоволны. В обычных условиях помехи при передаче сигнала обусловлены хаотическим поведением квантов поля (фотонов), которое имеет тепловую природу. Оказывается, снижение температуры до абсолютного нуля не приводит к полному исчезновению шума: на первый план выходят так называемые вакуумные флуктуации, обусловленные квантовой природой излучения. Это заставляет задуматься о фундаментальных квантовомеханических пределах точности и скорости передачи информации. Такие ограничения уже сейчас становятся серьёзным препятствием для развития технологий и принципов обработки информации.

Информационный смысл квантовой энтропии был прояснен в работе Бена Шумахера, посвященной квантовому сжатию данных (1995). Ближе всего к потребностям квантовой теории информации была теория квантового измерения фон Неймана.

Квантовая механика, основные идеи которой сформулировали Нильс Бор (1885-1962), Эрвин Шрёдингер (1887-1961) и Вернер Гейзенберг (1901-1976), помимо аппарата, позволяющего рассчитывать энергетические состояния атомов и молекул и вычислять матричные элементы переходов между ними, содержала философскую часть, относимую к основаниям квантовой механики и оставшуюся практически неостребованной до недавнего времени. Именно эта часть квантовой механики объясняет необычность квантового мира. Наиболее полно, порой специально доводя утверждения до парадоксальности, изложил эту часть квантовой теории Эрвин Шрёдингер в своей знаменитой работе 1935 *«Современное состояние квантовой механики»*, которую он сам не знал, как классифицировать: как *«... реферат или генеральную исповедь»*. В ней обсуждается одна из проблем квантовой информации - что мы можем узнать о состояниях объектов квантового мира, и что происходит с объектами в процессе получения этого знания. Потребовалось полвека для того, чтобы глубина этого подхода стала необходимой при интерпретации экспериментов, направленных на практические приложения.

В работе Шрёдингер анализирует «подводные камни» в описании квантовомеханических процессов измерения и формулирует четыре основных положения, которые сводятся к тому, что состояния объектов квантового мира обладают следующими свойствами: 1) Суперпозиции. Состояния описываются линейной суперпозицией базисных состояний. 2) Интерференции. Результат измерений зависит от относительных фаз амплитуд в этой суперпозиции. 3) *Entanglement* («перепутывания», взаимосопряженности», «сцепленности»). полное знание о состоянии всей системы не соответствует такому же полному знанию о состоянии ее частей. 4) Неклонировуемости и неопределенности. Неизвестное квантовое состояние невозможно клонировать, а также наблюдать без его возмущения.

(Напомним, что принцип суперпозиции мы уже обсуждали в рамках парадокса кота Шредингера)

В квантовой механике мера информации (её количественная характеристика) вводится на основе фундаментальных принципов квантовой теории в терминах матрицы плотности. Но прежде чем рассматривать эту меру дадим определения некоторых важных понятий.

Квантовый параллелизм объясняют так: *Данные в процессе вычислений представляют собой квантовую информацию, которая по окончании процесса преобразуется в классическую путём измерения конечного состояния квантового регистра. Выигрыш в квантовых алгоритмах достигается за счёт того, что при применении одной квантовой операции большое число коэффициентов суперпозиции квантовых*

состояний, которые в виртуальной форме содержат классическую информацию, преобразуется одновременно. О **квантовой запутанности** (квантовой суперпозиции) говорят: *Вообразите атом, который мог бы подвергнуться радиоактивному распаду в определенный промежуток времени. Или не мог бы. Мы можем ожидать, что у этого атома есть только два возможных состояния: «распад» и «не распад», но в квантовой механике у атома может быть некое объединенное состояние - «распада - не распада», т. е. ни то, ни другое, а как бы между. Вот это состояние и называется «суперпозицией».*

Характеристики квантовых компьютеров позволяют преодолеть некоторые ограничения, возникающие при работе классических компьютеров.

Квантовая сцепленность (*entanglement* «запутанность, перепутанность») - квантовомеханическое явление, при котором квантовое состояние двух или большего числа объектов должно описываться во взаимосвязи друг с другом, даже если отдельные объекты разнесены в пространстве. Поэтому возникают корреляции между наблюдаемыми физическими свойствами объектов. Например, можно приготовить две частицы, находящиеся в едином квантовом состоянии так, что когда одна частица наблюдается в состоянии со спином, направленным вверх, то спин другой оказывается направленным вниз, и наоборот, и это несмотря на то, что согласно квантовой механике, предсказать, какие каждый раз получатся направления, невозможно. Здесь измерения, проводимые над одной системой, оказывают мгновенное воздействие на сцепленную с ней. Однако то, что понимается под информацией в классическом смысле, всё-таки не может быть передано через сцепленность быстрее, чем со скоростью света.

Квантовая сцепленность является основой таких технологий, как квантовый компьютер, квантовая криптография и квантовая телепортация. В философском плане данное явление представляет собой одно из наиболее революционных свойств квантовой теории, так как корреляции, предсказываемые квантовой механикой, несовместимы с представлениями о локальности реального мира, при которой информация о состоянии системы может передаваться только посредством её ближайшего окружения.

Математически сцепленность представляет собой нефакторизуемое многочастичное квантовое состояние (состояние, которое нельзя «разложить на множители» - представить в виде произведения нескольких состояний). Простая аналогия из школьной математики: $a^2 - b^2$ может быть представлено в виде произведения $(a+b)$ и $(a-b)$, в то время как $a^2 + b^2$ разложить на множители невозможно. Две системы могут быть разделены большим расстоянием и быть при этом сцепленными, передать через их связь полезную информацию невозможно, поэтому причинность из-за сцепленности не нарушается. Это происходит по двум причинам: 1) результаты измерений в квантовой механике носят принципиально вероятностный характер; 2) теорема о невозможности клонирования квантового состояния запрещает статистическую проверку сцепленных состояний.



Рис. 1. Перепутанные состояния можно представить себе на примере составной системы - двухуровневый атом и поле. Предположим, что атом пролетает область взаимодействия с полем, например, полем резонатора. После короткого времени взаимодействия атом и поле оказываются

пространственно разнесенными. Однако состояние общей системы оказывается взаимозависимым, перепутанным, так как состояние, в котором находится поле, жёстко зависит от состояний атома, причём время жизни такого перепутанного состояния может быть много больше времени взаимодействия.

В квантовом мире для любого чистого состояния (замкнутой системы) мера информации равна 1. Это максимальное значение: для любой изолированной системы информация максимальна и равна единице. Для смешанных состояний (открытых систем) информация меньше единицы, и минимальное её значение достигается для максимально смешанных состояний и равно $1/d$, где $d = 2^N$ - размерность гильбертова пространства (N - число двухуровневых подсистем). Количество информации, содержащейся в системе, изменяется от $1/2^N$ для максимально смешанных состояний до 1 для чистых состояний (изолированных систем). Действительно: в замкнутой системе вся информация содержится в ней самой, и нормированная её величина равна 1. Для смешанных состояний, т. е. для систем, взаимодействующих со своим окружением, часть информации о системе теряется в её окружении. И минимум информации, который может остаться в самой системе (случай максимально смешанного состояния), определяется числом локализованных структур в системе в процессе.

Перепутанные состояния демонстрируют ещё одно парадоксальное, на первый взгляд, свойство: полное знание о состоянии всей системы ещё не предполагает такого же полного знания о состоянии её частей

Квантовая суперпозиция (когерентная суперпозиция) — это суперпозиция состояний, которые не могут быть реализованы одновременно с классической точки зрения, это суперпозиция альтернативных (взаимоисключающих) состояний.

Принцип суперпозиции утверждает, что если допустимые волновые функции описывают состояние квантовой системы, то их линейная суперпозиция, также описывает какое-то состояние данной системы. Поэтому все уравнения на волновые функции (например, уравнение Шрёдингера) должны быть линейными. Любая наблюдаемая величина (положение, импульс, энергия частицы и т.п.) является собственным значением эрмитова линейного оператора, соответствующим конкретному собственному состоянию этого оператора, т. е. определённой волновой функции, действие оператора на которую сводится к умножению на число - собственное значение. Линейная комбинация двух волновых функций собственных состояний оператора также будет описывать реально существующее физическое состояние системы. Однако для такой системы наблюдаемая величина уже не будет иметь конкретного значения, и в результате измерения будет получено одно из двух значений с вероятностями, определяемыми квадратами коэффициентов (амплитуд), с которыми базисные функции входят в линейную комбинацию. (Разумеется, волновая функция системы может быть линейной комбинацией и более чем двух базисных состояний, вплоть до бесконечного их количества).

Один из широко известных примеров парадоксального поведения квантовомеханических объектов с точки зрения макроскопического наблюдателя - кот Шрёдингера, который представляет собой квантовую суперпозицию живого и мёртвого кота.

Факт разрушения квантового состояния в результате воздействий, производимых измеряющей аппаратурой, позволяет говорить о квантовом состоянии как об очень «чутком», ускользающем от попыток получить о нём информацию, объекте. Известное соотношение неопределенностей есть одно из проявлений такой лабильности. Другим ярким проявлением является теорема о невозможности клонировать отдельный квантовый объект. Под клонированием понимается создание точной копии исходного объекта при сохранении его в том состоянии, в каком он был до операции клонирования и которое изначально неизвестно.

Квантовая теория информации непосредственно связывает информацию с энергией через энтропию фон Неймана, которую можно считать основной физической характеристикой энергоинформационного процесса. Изменение информации сопровождается изменением энергии, а обмен информацией напрямую связан с обменом энергией (справедливо и обратное).

Информацию, энергию и энтропию связывает теорема Марголюса-Левитина утверждает, что число элементарных логических операций, которые физическая система может выполнить в единицу времени, ограничено энергией системы, а количество информации, которую система может зарегистрировать (воспринять), ограничено её собственной максимальной энтропией. Прямая связь между энергией и выполняемыми логическими операциями (информационными процессами) позволяет перекинуть мостик к физическим процессам, сопровождающим работу сознания, поскольку она непосредственно связана с логическими операциями. Информация в терминах энтропии фон Неймана позволяет описывать запутанные состояния. Об объекте, находящемся в чистом запутанном состоянии, невозможно получить никакой информации. Энтропия фон Неймана и квантовая запутанность может быть отлична от нуля только для подсистем, которые взаимодействуют со своим окружением, и поэтому находятся в несепарабельном состоянии. Довольно часто количество квантовой информации определяется просто как число кубитов в системе.

Фундаментальные различия между классическим и квантовым определяются терминами: **дополнительность** и **сцепленность**. Дополнительность означает наличие таких свойств одного и того же объекта, которые принципиально недоступны совместному наблюдению. Различные физические измерения микрообъектов осуществляются разными макроскопическими экспериментальными установками, каждая из которых предполагает сложную и специфичную организацию пространственно-временной среды. Способы такой организации, отвечающие разным наблюдаемым свойствам, могут быть взаимно исключающими, т.е. дополнительными. Взаимно дополнительные величины, такие как координата и импульс, электрическое и магнитное поля, компоненты спина, изображаются неперестановочными (некоммутирующими) операторами. Для них имеют место соотношения неопределенностей, запрещающие точную совместную измеримость, так что именно дополнительность ответственна за специфические ограничения информационного характера. Дополнительность приводит к тому, что состояния квантовой системы не могут быть заданы простым перечислением свойств, т.е. точкой в каком-либо фазовом пространстве. Вместо этого состояния описываются векторами в некотором линейном (гильбертовом) пространстве, причём всякая суперпозиция (линейная комбинация) векторов также задаёт состояние.

Новые необычные возможности квантовых систем связаны со сцеплённостью («запутанностью»), которая представляет собой квантовое свойство, родственное классической коррелированности, но к ней не сводящееся. Сцепленные состояния - не редкость в квантовой физике: обычно они возникают в результате

взаимодействия или распада квантовых систем. Однако квантовая теория не исключает возможности сцепленного состояния для пары частиц, которые, однажды провзаимодействовав, разлетелись на макроскопическое расстояние (необычные свойства такой пары называют «телепатическими»). Эксперименты подтвердили возможность искусственного создания внутренней сцеплённости фотонов и даже массивных микрочастиц, хотя такое явление никогда не наблюдается в естественных условиях и противно самой природе классического макроскопического мира.

Сцеплённость можно измерять количественно, как температуру или другую физическую характеристику состояния. Её можно концентрировать, «разбавлять», пересылать; она может существовать в латентной «связанной» форме и проявляться лишь в особых обстоятельствах. В случае составных квантовых систем говорят не только о сцепленных и несцеплённых состояниях, но и о соответствующих измерениях. При этом если квантовые системы A и B находятся в несцеплённом состоянии, то максимальное количество информации о состоянии, получаемое из измерений составной системы AB , может быть больше суммы количеств информации, получаемых из измерений систем A и B . Такая неклассическая строгая супераддитивность информации проявляется при исследовании пропускной способности квантового канала связи. В квантовом случае само понятие пропускной способности разветвляется, порождая целый «зоопарк» информационных характеристик канала, зависящих от вида передаваемой информации (квантовой или классической), а также от дополнительных ресурсов, используемых при передаче.

1.2 Квантовая телепортация

Квантовая телепортация - передача квантового состояния на расстояние, при помощи разъединённой в пространстве сцеплённой пары и классического канала связи, при которой состояние разрушается в точке отправления при проведении измерения, после чего воссоздаётся в точке приёма. Квантовая телепортация не передаёт энергию или вещество на расстояние. Обязательным этапом при квантовой телепортации является передача информации между точками отправления и приёма по классическому, неквантовому каналу.

Монотонное течение исследований в области измерения, трансформации и передачи информации в квантовом мире было взорвано экспериментальной реализацией в 1997 Антоном Цайлингером старой мечты фантастов о телепортации - исчезновении объекта в одном месте и возникновении в другом, пространственно удалённом. Хотя предложение о квантовой телепортации - возможности переноса квантового состояния одного объекта на другой, было сделано Чарлзом Беннетом ещё в 1993, именно эксперимент привлекли к себе широкое внимание научной (и не только) общественности.

Классически понимаемая телепортация состоит в максимальном тестировании объекта телепортации и затем в передаче этих свойств с последующим восстановлением объекта. Однако проецирование и разрушение измеряемого объекта при измерении запрещают эту процедуру в квантовом мире. Существует иной метод передачи квантового состояния одного объекта на другой. Схема передачи неизвестного состояния $|\Psi\rangle$ от Алисы к Бобу (*традиционные персонажи в объяснении особенностей передачи квантовой информации*) состоит в следующем: Алиса имеет у себя частицу в некотором неизвестном ей состоянии $|\Psi\rangle$. Производя операцию телепортации, Алиса разрушает состояние $|\Psi\rangle$ в своём местоположении, но при этом частица у Боба переходит в это ($|\Psi\rangle$) квантовое состояние. Ни Боб, ни Алиса не получают информацию о состоянии $|\Psi\rangle$, а Боб даже не знает, что на его частицу телепортировано некоторое состояние. Чтобы сообщить Бобу об акте телепортации, Алиса должна воспользоваться классическим каналом информации. Ключевую роль в данной схеме играют фотонные пары, находящиеся в перепутанных состояниях. Именно с их помощью осуществляется квантовый канал информации между Алисой и Бобом.

Предположим, что частица 1 (фотон), которую Алиса хочет телепортировать, находится первоначально в поляризованном состоянии (**Рис. 2**). Алиса связана с Бобом с помощью пар фотонов, посылаемых ЭПР-источником и находящихся в перепутанных состояниях. Фотоны 2 посылаются Алисе, а фотоны 3 – Бобу. Совместное состояние фотонов 1 и 2, встречающихся на станции Алисы, есть произведение состояний $|\Psi\rangle_1$ и $|\Psi\rangle_{23}$.

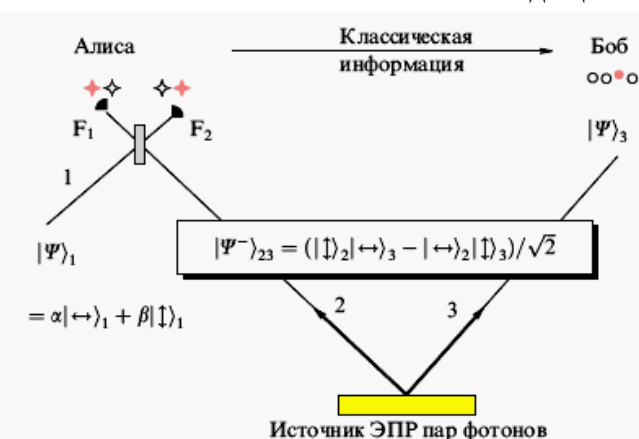


Рис. 2. Принципиальная схема телепортации. Алиса хочет передать состояние частицы 1 частице, находящейся на станции Боба. Алиса и Боб получают фотоны 2 и 3, образующие ЭПР-пару в перепутанном состоянии $|\Psi\rangle_{23}$. Алиса, выполняя измерения белловских состояний частиц 1 и 2, осуществляет проецирование также и частицы 3, находящейся у Боба. В одном случае из четырёх

два детектора F_1 и F_2 срабатывают одновременно, давая Алисе знать, что одновременно состояние частицы 3 стало таким, как начальное состояние фотона 1, т.е. произошла телепортация состояния $|\Psi\rangle_1$. Воспользовавшись классическим каналом, Алиса может сообщить об этом Бобу. Кроме того, при использовании классического канала и дополнительного унитарного преобразования, выполняемого Бобом, можно получать состояния $|\Psi\rangle_1$ на стороне Боба со стопроцентной вероятностью после каждого белловского измерения, выполненного Алисой.

Из волновой функции для трёх частиц, две из которых у Алисы, а одна у Боба, следует, что если Алиса спроецирует частицы 1 и 2 на состояние $|\Psi\rangle_{23}$, то состояние частицы 3 на стороне Боба мгновенно редуцируется к состоянию первой частицы и $|\Psi\rangle_3$. Т. е. производя измерения белловских состояний, образующихся при смешении на зеркале фотонов 1 и 2, и регистрируя совпадения фотоотсчетов детекторов F_1 и F_2 (**Рис. 2**), Алиса тем самым осуществляет мгновенную редукцию состояния фотона 3 к первоначальному состоянию фотона 1, другими словами, производит телепортацию!

Некоторые особенности квантовой телепортации требуют специального рассмотрения. Процедура телепортации не нарушает теорему о неклонированности отдельного квантового объекта. В момент произведения Алисой измерения состояний Белла фотон 1 становится компонентой поляризационно перепутанной пары фотонов 1 и 2, т.е. теряет свою индивидуальность. Начальное его состояние $|\Psi\rangle_1$ разрушается. Перенос квантовой информации от фотона 1 к фотону 3 может осуществляться на произвольные расстояния. Технически сейчас осуществимо поддержание поляризационной перепутанности фотонов на расстояниях более 10 км. В момент измерения Алиса знает о факте телепортации, а Боб не знает: телепортация не предполагает передачу информации о факте её осуществления. Более того, Алиса может и не знать конкретно, какое состояние фотона 1 она передаёт. Для информирования Боба о факте передачи состояния на фотон 3 требуется классический канал информации. Если Алиса проводит полное измерение состояний Белла, идентифицируя помимо фермионного и три бозонных состояния, каждое из которых возникает с вероятностью 25%, то Боб, получая по классическому каналу от Алисы эту информацию, может правильно выбранным преобразованием перевести состояние фотона 3 в начальное состояние фотона 1 при любом результате измерений Алисы. Если этого не делать, а ограничиться проецированием на фермионное состояние, то телепортация будет успешно осуществляться в среднем один раз из четырёх попыток.

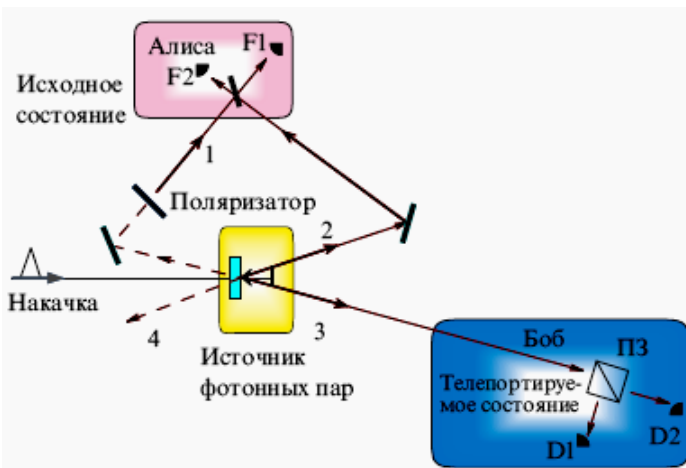


Рис. 3. Схема эксперимента по квантовой телепортации. Источником вспомогательных фотонных пар, связывающих Алису и Боба, был нелинейный кристалл, возбуждаемый УФ фемтосекундными импульсами, преобразуемыми при параметрическом распаде по II типу в фотоны 2 и 3. Отраженная часть накачки использовалась для создания при обратном проходе фотона 1 для телепортирования и фотона 4 для временной привязки. Измерение состояний Белла фотонов 1 и 2 производилось при смешении их на зеркале с последующей регистрацией детекторами F_1 и F_2 . Для анализа поляризационных свойств фотона на стороне Боба использовалось поляризационное зеркало с последующими двумя детекторами D_1 и D_2 .

На **Рис. 3** приведена схема эксперимента. Источником фотонных пар 2 -3, связывающих Алису и Боба, был нелинейный кристалл, возбуждаемый УФ фемтосекундными импульсами, преобразуемыми при параметрическом распаде по II типу в фотоны 2 и 3. Отраженная часть накачки использовалась для создания фотона 1 для телепортирования. Измерение состояний Белла фотонов 1 и 2 производилось при смешении их на зеркале с последующей регистрацией детекторами F_1 и F_2 . Для анализа поляризационных свойств фотона на стороне Боба использовалось поляризационное зеркало с последующими двумя детекторами D_1 и D_2 .

Экспериментальное доказательство телепортации состояло в регистрации совпадений отсчетов детекторов F_1 и F_2 , фиксирующих момент телепортации, и одного из детекторов на стороне Боба, настроенных на регистрацию различным образом поляризованных фотонов (трёхпортовые совпадения). Выбирая в качестве телепортируемого фотон 1 с поляризацией 45° и настраивая поляризационное зеркало на селекцию поляризации -45° (детектор D_1) и $+45^\circ$ (детектор D_2), следует ожидать, что при совпадении отсчетов F_1 и F_2 фотон 3 должен иметь поляризацию $+45^\circ$, т.е. детектор D_2 должен дать отсчет, а детектор D_1 - нет. Если рассматривать вероятности тройных совпадений $(D_1 F_1 F_2)$ и $(D_2 F_1 F_2)$ как функции задержки между фотонами 1 и 2, реализуемой перемещением зеркала, переотражающего импульсы накачки, то должен наблюдаться провал до нуля для совпадений $(D_1 F_1 F_2)$ и отсутствие какой-либо зависимости для совпадений $(D_2 F_1 F_2)$. Постоянный уровень вероятности тройных совпадений вне области телепортации там,

где фотоны 1 и 2 попадают на детекторы F_1 и F_2 независимо друг от друга, составляет 25% (50% от вероятности совпадений фотонов 1 и 2, и 50% от вероятности фотону 3, не имеющему в этом случае определенной поляризации, попасть на D_1 или D_2). Экспериментальные результаты подтвердили это как для телепортации фотона 1 с поляризацией 45° , так и для фотона 1, имеющего поляризацию -45° .

Реализация квантовой телепортации состояний открывает новые возможности в решении проблемы передачи легко разрушаемых суперпозиционных состояний на большие расстояния без потери ими когерентности, что является камнем преткновения для создания квантовых компьютеров. Кроме этого проблема телепортации, несомненно, затрагивает ряд вопросов принципиального характера, в частности, обмена квантовой информацией в сложных пространственно разнесенных молекулярных структурах, в том числе биологических.

Сейчас обсуждения информационного аспекта квантовой механики окончательно перешли с уровня «мысленных экспериментов» в разряд «практически значимых». Эксперименты по телепортации ещё раз продемонстрировали, что «классическая» трактовка квантовой механики, опирающаяся на понятия «состояния», «суперпозиция состояний», «редукция», не дававшая ранее сбой в предсказании результатов экспериментов, была состоятельной и в этот раз. Точно так же, как любое квантовомеханическое измерение фиксирует реализацию одной из возможностей, которые возникают из начального состояния, измерение на стороне Алисы фиксирует возможность для Боба получить фотон 3 в исходном состоянии фотона 1, которая является только одной из возможностей, предоставляемых начальным состоянием трёх фотонов, два из которых (2 и 3) первоначально находились в перепутанном состоянии, генерируемым общим источником.

В 1998 осуществлена полная квантовая телепортация магнитных состояний ядра водорода на состояния ядра хлора в пределах одной молекулы тихлорэтилена.

1.3 Передача информации и квантовая криптография

Любая схема передачи информации состоит из передатчика (возможно, включающего в себя устройство, кодирующее сообщения), канала связи и приёмника (с декодирующим устройством). Обычно все три названные компоненты описываются на языке классической физики и статистики. Посылаемый передатчиком сигнал (для простоты 0 или 1) подвергается в канале случайным помехам и может исказиться. Поэтому сигнал на выходе приёмника не обязательно совпадает с посланным сигналом, а качество связи характеризуется вероятностью ошибки. Обычно требуется разработать такую конструкцию приёмника, которая обеспечивала бы оптимальное обнаружение или оценивание посланного сигнала для заданного канала и метода передачи. Подобные задачи решаются методами теории статистических решений. Теория информации преследует цель: для заданного канала с помехами разработать методы кодирования и декодирования сигнала, которые позволили бы передавать за единицу времени большие сообщения, практически неуязвимые для помех.

В квантовом мире передатчик prepares квантовое состояние носителя информации в зависимости от поступающего сообщения. Например, передатчиком может быть лазер, который излучает либо вертикально, либо горизонтально поляризованные фотоны. Посылаемый двоичный сигнал кодируется соответствующим состоянием поля излучения. В канале связи он искажается, и на приёмник поступают состояния, отличные от посланных передатчиком. Приёмник осуществляет квантовое измерение той или иной физической величины, возможно, с последующей обработкой получаемой классической информации. Конечный результат такого измерения - выходной сигнал 0 или 1, дающий более или менее достоверную оценку посланного исходного сигнала, причём качество линии связи вновь характеризуется вероятностью ошибки. Аналогия с классической линией связи очевидна.

Рассмотрение понятия квантового измерения с информационно-статистической точки зрения привело к парадоксальному выводу: добавление независимого квантового шума в наблюдения позволяет увеличить количество получаемой информации. Парадокс в том, что такого никогда не бывает в классической статистике: добавление шума только портит качество наблюдений.

Важнейшая характеристика квантового канала - его классическая пропускная способность, т.е. предельная максимальная скорость безошибочной передачи классических сообщений при использовании оптимального кодирования/декодирования длинных сообщений. Из известного энтропийного неравенства вытекает, что количество передаваемой классической информации не может быть больше, чем $\log d$, где d - размерность пространства квантового носителя информации. То обстоятельство, что любое гильбертово пространство содержит бесконечно много различных векторов состояний, не помогает передать неограниченное количество информации: чем больше состояний используется для передачи, тем они ближе друг к другу и, следовательно, неразличимее. Однако, классическая пропускная способность канала может быть увеличена путем использования дополнительной сцеплённости между входом и выходом канала.

Сцеплённость играет роль «катализатора», выявляющего скрытые информационные ресурсы квантовой системы, но сама по себе не позволяет передавать информацию: это означало бы мгновенную передачу на конечное расстояние. Если канал без шума, то выигрыш в пропускной способности, обеспечиваемый сверхплотным кодированием, двукратен. Чем сильнее канал отличается от идеального, тем выигрыш больше, и для каналов с очень большим шумом может быть сколь угодно велик. Классическая пропускная способность с использованием сцеплённого состояния - самая большая.

При передаче классической информации по квантовому каналу сообщение записывается в квантовом состоянии. Однако вся полнота информационного содержания не может быть сведена к классическому сообщению и заслуживает специального термина - квантовая информация, т.к. квантовое состояние содержит в себе информацию о статистике всевозможных, в том числе и взаимоисключающих (дополнительных) измерений системы. Количество квантовой информации измеряется величиной энтропии состояния. Принципиальное отличие квантовой информации от классической заключается в невозможности копирования: не существует «квантового ксерокса», т.е. физического устройства, позволяющего копировать произвольное квантовое состояние. Теория предсказывает возможность нетривиального способа передачи квантовой информации, при котором носитель состояния физически не передаётся, а пересылается лишь некоторая классическая информация (так называемая телепортация квантового состояния). Необходимым дополнительным ресурсом вновь становится сцеплённость между входом и выходом канала связи. Свести передачу произвольного квантового состояния только к передаче классической информации без использования дополнительного квантового ресурса невозможно: поскольку классическая информация копируема, это означало бы возможность копирования и квантовой информации. Квантовая пропускная способность - предельное максимальное количество квантовой информации, которое может быть сколь угодно точно передано каналом.

Есть глубокая аналогия между квантовым каналом и каналом с подслушивателем, причём в квантовом случае роль перехватчика информации играет окружение рассматриваемой системы. Криптографические характеристики канала: пропускная способность для секретной передачи классической информации и скорость распределения случайного ключа.

Квантовая криптография - метод защиты коммуникаций, основанный на определенных явлениях квантовой физики. В отличие от традиционной криптографии, которая использует математические методы, чтобы обеспечить секретность информации, квантовая криптография сосредоточена на физике информации, так как рассматривает случаи, когда информация переносится с помощью объектов квантовой механики. Процесс отправки и приёма информации всегда выполняется физическими средствами, например, при помощи электронов в электрическом токе, или фотонов в линиях волоконно-оптической связи. А подслушивание может рассматриваться, как измерение определенных параметров физических объектов - в нашем случае, переносчиков информации.

Одним из направлений квантовой информации, наиболее продвинутых в область практических приложений, является квантовая криптография. Задача криптографии состоит в передаче информации между двумя сторонами так, чтобы попытка перехватить передачу или узнать секретный код была обречена на неудачу. Современными методами классической криптографии эта задача почти решается, например, в рамках «симметричной» криптосистемы, опирающейся на создание секретного кода.

Технология квантовой криптографии опирается на принципиальную неопределенность поведения квантовой системы - невозможно одновременно получить координаты и импульс частицы, невозможно измерить один параметр фотона, не исказив другой. Это фундаментальное свойство природы в физике известно как принцип неопределённости Гейзенберга (1927). Используя квантовые явления, можно спроектировать и создать такую систему связи, которая всегда может обнаруживать подслушивание. Это обеспечивается тем, что попытка измерения взаимосвязанных параметров в квантовой системе вносит в неё нарушения, разрушая исходные сигналы, а значит, по уровню шума в канале легитимные пользователи могут распознать степень активности перехватчика.

В этой системе Алиса и Боб, и только они, имеют секретный код - последовательность случайных чисел, например, десятичных: $K=\{12793\ 41169\ 42357...\}$. По заданному правилу каждой букве алфавита ставится в соответствие десятичное число и Алиса, желающая переслать Бобу послание, заменяет в послании каждую букву соответствующей ей цифрой. Сама по себе эта процедура не имеет защиты и легко дешифруется. Получающаяся последовательность чисел $P=\{739976827965867...\}$, послание, затем шифруется - к каждому числу послания прибавляется число из кода и получающиеся цифры в разряде единиц представляют собой криптограмму $S=\{85680\ 09338\ 07114...\}$, которую можно пересылать по открытому каналу (телефону и пр.). Боб, получив криптограмму и зная код K , расшифровывает её, получая послание S . Последовательности K , P и S , приведенные выше, взяты из реального послания, которое посылал Че Гевара из Боливии Ф. Кастро на Кубу в 1967.



Рис. 4. Последовательность действий для квантовой криптографии при использовании кодировки поляризационных состояний.

№	Действия		Секретность
1	A → B	1 0 0 1 0 0 1 1	секретно
		↓ / ↔ \ ↔ ↔ ↓ ↓	квант. канал
2	B измеряет	+ + × × + × × +	открытый канал
		↓ ↓ / \ ↔ / / ↓	секретно
3	A → B: тип изм. A → B: верно	✓ ✓ ✓	открытый канал
4	A и B создают код	↓ \ ↔ ↓ 1 1 0 1	секретно

обеспечивалась бы физическими законами. Именно такой канал и представляет квантовая физика. Квантовая криптография (как и квантовая телепортация) опирается на невозможность клонирования отдельного квантового объекта. Если в качестве передатчика секретного кода выступают состояния отдельных частиц, то при попытке зарегистрировать эти состояния внешним наблюдателем они разрушаются. Факт попытки перехвата можно обнаружить, используя определенное соглашение (протокол) между Алисой и Бобом.

Один из таких протоколов связан с кодировкой поляризационных состояний фотонов в двух альтернативных базисах, не ортогональных друг другу.

Передача секретного кода осуществляется в несколько этапов (**Рис. 4**). Предварительно Алиса и Боб договариваются о кодировке (фотоны с поляризацией 0° и 45° кодируют число 0, фотоны с поляризацией 90° и 135° - единицу). Затем Алиса случайным образом меняет поляризацию фотонов, посылаемых по квантовому каналу Бобу. Боб измеряет поляризацию получаемых фотонов, случайным образом меняя ориентацию анализатора для распознавания поляризации 0° и 90° или 45° и 135° . Криптосистема будет секретной только в случае, если используемый код случайный. Именно случайности кода и добиваются Алиса и Боб, случайно меняя поляризаторы. По открытому каналу Боб сообщает Алисе, какой тип измерения он выполнял для каждого фотона, а Алиса подтверждает, верно или нет он выбрал его. Оставляя из всей последовательности только верно выбранные измерения, Алиса и Боб создают секретный код.

Внешний наблюдатель, пытаясь узнать секретный код, обязательно должен пытаться считывать информацию из квантового канала. Но при этом он вызовет несовпадения в кодах, которые получают Алиса и Боб, так как измерения внешнего наблюдателя необратимым образом разрушают поляризационные состояния фотонов, передаваемых по квантовому каналу. Делая проверку совпадений по случайной выборке, Алиса и Боб обнаружат превышение уровня ошибок по сравнению с уровнем ошибок, генерируемых детекторами. Тем самым будет установлен факт попытки нарушения секретности. Другим протоколом, который может использоваться при передаче квантового кода, является фазовая модуляция с интерферометрическим детектированием, основанным на интерференции одного фотона с самим собой в интерферометре, образованном двумя интерферометрами Маха-Цандера.

В настоящее время для реализации квантового канала в схеме квантовой криптографии наиболее подходящей средой является оптическое волокно, свойства которого позволяют передавать криптограммы на расстояния до 100 км. Использование волокна накладывает ограничения на возможность работы с поляризационной кодировкой, поскольку оптоволокно обладает ощутимыми флуктуациями двулучепреломления. В силу этого для квантовой криптографии используется фазовая модуляция с интерферометрическим детектированием. Для экспериментальной квантовой криптографии необходимо соблюдение некоторых требований: малость потерь в канале; использование для регистрации фотодетекторов, работающих в режиме счета одиночных; невозможность использования усилителей (из теоремы о невозможности клонирования состояний квантовых систем следует, что при передаче по квантовому каналу использование усилителя оказывает такое же разрушающее воздействие, как и попытка перехвата сообщения). В настоящее время реализованы две квантовые криптографические установки. Осуществлена передача квантового кода по стандартному оптическому волокну, проложенному по дну Женевского озера на расстояние 23 км.

1.4 Квантовые компьютеры

Квантовая информация - новый раздел науки, возникший на стыке квантовой теории, и теории информации. Он включает в себя вопросы квантовых вычислений и квантовых алгоритмов, квантовых компьютеров и квантовой телепортации, квантовой криптографии и проблемы декогерентности.

Квантовый алгоритм - алгоритм, предназначенный для выполнения на квантовом компьютере.

Квантовый компьютер - гипотетическое вычислительное устройство, которое путём выполнения квантовых алгоритмов использует при работе квантовомеханические эффекты, такие как квантовый параллелизм и квантовая запутанность.

Квантовые компьютеры – физические устройства, выполняющие логические операции над квантовыми состояниями путём унитарных преобразований, не нарушающих квантовые суперпозиции в процессе вычислений. Схематично работа квантового компьютера может быть представлена как последовательность трёх операций.

- 1) запись (приготовление) начального состояния;
- 2) вычисление (унитарные преобразования начальных состояний);
- 3) вывод результата (измерение, проецирование конечного состояния).

Обычный числовой компьютер оперирует с битами - булевскими переменными, принимающими значения 0 и 1 - и на любом этапе вычислений компьютер имеет определенные значения в каждом бите, используемом для вычислений. Причём эти значения можно измерить. На первом этапе вычислений необходимо записать исходные данные в регистр - набор битов, каждый из которых должен иметь определенные значения (0 или 1).

Квантовый компьютер оперирует с состояниями. Простейшей системой, выполняющей функцию, аналогичную битам в классических компьютерах, является система с двумя возможными состояниями. Для обозначения состояния такой квантовой двухуровневой системы предложен специальный термин: q -бит - квантовый бит информации - состояние квантовой системы с двумя возможными базовыми состояниями $|0\rangle$ и $|1\rangle$. Общее состояние такой системы есть суперпозиция $|q\rangle = C_0|0\rangle + C_1|1\rangle$, нечто большее, чем булевское 0 или 1; q -бит квантовая суперпозиция двух чисел: нуля и единицы! Физическими системами, реализующими q -биты, могут быть любые объекты, имеющие два квантовых состояния: поляризационные состояния фотонов, электронные состояния изолированных атомов или ионов, спиновые состояния ядер, нижние состояния в квантовых точках и др.

Память квантового компьютера (квантовый регистр) должна состоять из множества элементарных ячеек - кубитов, которые находятся в сцепленном состоянии, а операции предполагают управляемое квантовомеханическое взаимодействие между ними. Данные в процессе вычислений представляют собой квантовую информацию, которая по окончании процесса преобразуется в классическую путём измерения конечного состояния квантового регистра. Выигрыш в квантовых алгоритмах достигается за счёт того, что при применении одной квантовой операции большое число коэффициентов суперпозиции квантовых состояний, которые в виртуальной форме содержат классическую информацию, преобразуется одновременно (квантовый параллелизм).

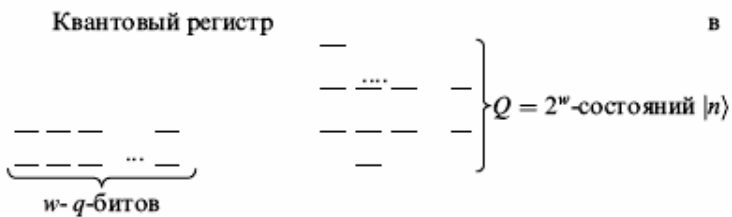
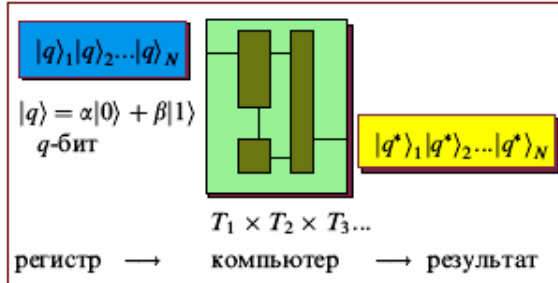
Уже первая операция (классических и квантовых) вычислений – приготовление начального состояния регистра – демонстрирует возможные преимущества квантовых операций с кубитами. При наборе начального числа на классическом регистре, состоящем из w битов, нам потребуется w операций – на каждом бите установить значения 0 или 1. При этом будет записано только одно число длиной w . При совершении w унитарных операций с каждым кубитом в квантовом регистре – устройстве, состоящем, например из w квантовых точек (**Рис.**) – мы приготовим когерентную суперпозицию всех $Q=2^w$ состояний общей системы квантового регистра. Тем самым мы приготовим вместо одного числа сразу 2^w возможных значений регистра - когерентную суперпозицию всех возможных для данного регистра чисел. Это свойство используется для квантовых параллельных вычислений.

Применяя к приготовленным состояниям унитарные преобразования, выполняющие те или иные логические операции, можно реализовать собственно квантовый процессор. Роль соединений (проводов) в обычных компьютерах играют q -биты, а роль логических блоков (вентилей), на которые разбивается весь процесс вычислений как в классическом, так и квантовом процессоре, - унитарные преобразования. Такая концепция квантового процессора и квантовых логических вентилей была предложена в 1989 Д. Дейчем, который также нашёл универсальный логический блок (аналогичный вентилю Тоффли в обратимых классических процессорах), с помощью которого можно выполнить любые квантовые вычисления.

Классические вычисления



Квантовые вычисления



а

б

в

Рис. 5. Квантовые компьютеры - физические устройства, выполняющие логические операции над квантовыми состояниями путем унитарных преобразований, не нарушающих квантовые суперпозиции в процессе вычислений. Схематично работа квантового компьютера (б) может быть представлена как последовательность трех операций: запись (приготовление) начального состояния; вычисление (унитарные преобразования начальных состояний); вывод результата (измерение, проецирование конечного состояния). В отличие от обычного числового компьютера (а), оперирующего с битами - булевскими переменными, принимающими значения 0 и 1, квантовый компьютер оперирует с q -битами - квантовыми битами информации - состояниями квантовой системы с двумя возможными базовыми состояниями $|0\rangle$ и $|1\rangle$. Физическими системами, реализующими q -биты, могут быть любые объекты, имеющие два квантовых состояния: поляризационные состояния фотонов, электронные состояния изолированных атомов или ионов, спиновые состояния ядер, нижние состояния в квантовых точках и др. Вывод результата квантового вычисления является вероятностным - требуется несколько измерений, чтобы

извлечь информацию о конечном состоянии квантового компьютера. (в) Квантовый регистр образуют состояния нескольких q -битов. При количестве q -битов в регистре число состояний экспоненциально больше: $Q = 2^w$.

Квантовые логические блоки, объединённые вместе и в определённой последовательности действующие на кубиты, образуют компьютерную сеть.

Операция вывода результата вычисления для классического компьютера ничем не отличается от любой другой операции во время вычислений. Вычисления могут быть остановлены в любом месте, промежуточные результаты прочитаны и вычисления продолжены. В квантовом компьютере это не так. Конечным результатом квантовых вычислений является состояние квантового регистра после совершенных унитарных преобразований, представляющее собой когерентную суперпозицию всех возможных для данного регистра состояний. Очевидно, что мы не можем получить все амплитуды вероятностей в разложении этого суперпозиционного состояния. Все, что мы можем получить от этого одиночного квантового объекта, что доступно нам согласно квантовой теории - квадратичные формы, соответствующие измерению среднего значения некой физической величины. Причём конечный результат квантовых вычислений будет флуктуировать от вычисления к вычислению. Однако даже в таких условиях квантовых неопределённостей квантовые компьютеры могут дать существенное ускорение вычислений некоторых математических задач.

В квантовом компьютере информация обрабатывается не электронами, проходящими сквозь транзисторы, как в современных компьютерах, а квантовыми битами или кубитами.

Кубит (q -бит, кьюбит; от *quantum bit*) - квантовый разряд или наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере.

Как и бит, кубит допускает два собственных состояния, но при этом может находиться и в их суперпозиции. При любом измерении состояния кубита он случайно переходит в одно из своих собственных состояний. Кубиты могут быть «запутаны» друг с другом, т. е. на них может быть наложена ненаблюдаемая связь, выражающаяся в том, что при всяком измерении над одним из нескольких кубитов, остальные меняются согласованно с ним. Совокупность запутанных между собой кубитов может интерпретироваться как заполненный квантовый регистр. Как и отдельный кубит, квантовый регистр гораздо более информативен. Он может находиться не только во всевозможных комбинациях составляющих его битов, но и реализовывать всевозможные тонкие зависимости между ними. Несмотря на то, что мы не можем непосредственно наблюдать состояние кубитов и квантовых регистров во всей полноте, между собой они могут обмениваться своим состоянием и могут его преобразовывать. Тогда есть возможность создать компьютер, способный к параллельным вычислениям на уровне своего физического устройства и проблемой остаётся лишь прочитать конечный результат вычислений.

Суперпозиция позволяет квантовому компьютеру работать над многими проблемами и приходить к их решению одновременно. В этом есть существенные преимущества, в частности для решения задач с большим количеством данных или переменных. Имея квантовый компьютер, можно решить некоторые задачи за секунды, что у классических компьютеров займёт вечность.

Квантовая механика позволила количественно обосновать связь термодинамики с информацией и ввести понятие квантовой информации. Слияние физики и теории информации сформировало главный принцип квантовой механики, гласящий, что в своей основе природа дискретна. Физическую систему можно описать, используя конечное число битов. Каждая частица в ней действует точно так же, как логический элемент компьютера. Спин («ось») частицы может указывать в одном из двух направлений, кодируя один бит, и может менять направление на обратное («опрокидываться»), выполняя простейшее вычислительное действие.

Система также дискретна во времени: для изменения значения бита требуется минимальный временной промежуток, точная величина которого определяется теоремой, названной в честь пионеров физики обработки информации Н. Марголуса и Л. Левитина (США). Теорема связана с принципом неопределенности Гейзенберга, который описывает присущую природе взаимозависимость физических величин, таких как положение и импульс, или время и энергия. Время t , необходимое для изменения значения бита, зависит от величины прикладываемой энергии E . Чем она больше, тем короче временной промежуток: t больше или равно $\hbar/4E$, где \hbar - постоянная Планка. Например, в одном из прототипов квантового компьютера биты кодируются ориентацией протонов, а для её изменения используется магнитное поле. Математические операции происходят за минимальное время, допускаемое теоремой Марголуса-Левитина. Здесь используется первый закон квантовой арифметики: вычисление потребляет энергию. Спин протона кодирует один бит, который можно инвертировать с помощью магнитного поля. Чем сильнее поле, тем больше энергия взаимодействия и тем быстрее инвертируется спин протона.

Когда Р. Фейнман впервые обратил внимание на возможность построения процессора, работающего по квантовомеханическим принципам, не было понятно, в решении каких математических проблем такой компьютер может дать преимущество по сравнению с обычными процессорами? Первый реалистичный пример был найден в 1994 П. Шором - задача факторизации большого n -значного числа. Здесь: задача вычисления произведения двух простых чисел, скажем 521 и 809, не вызывает никаких затруднений. Однако обратная задача: нахождение простых сомножителей числа 421489, потребует определенного времени. Известно, что это время (при использовании классических алгоритмов) растёт с ростом длины n факторизуемого числа, как $\exp(n^{1/3})$. Достижение Шора состоит в том, что он нашел алгоритм, основанный на особенностях квантовых вычислений, уменьшающий рост этого времени до полиномиального (n^2).

Алгоритм решения задачи факторизации опирается на сводимость её к нахождению периода вспомогательной функции, причём процедура нахождения периода функции с помощью квантовых вычислений значительно ускоряется.

Другая задача, решение которой ускоряется при использовании квантовых вычислений, - поиск среди элементов базы данных, каждый из которых на запрос может давать ответ (ДА/НЕТ). К другим, пока не решённым задачам, относятся комбинаторные, например, задача коммивояжёра: найти кратчайший путь между n точками с известными расстояниями между парами, проходящий через каждую точку один раз. К задачам типа коммивояжёра относится задача доставки продуктов питания в магазины, подвода электроэнергии потребителям, построения кольцевых линий электропередач и др. Другой такой же важной проблемой является коррекция ошибок, генерируемых при вычислениях. Причём в силу очень чувствительного характера квантовых состояний к внешним возмущениям, коррекции ошибок следует уделять значительно больше внимания, чем при классических вычислениях.

Проблемы создания квантового компьютера в настоящее время – прежде всего физические проблемы. Основная из них – быстрый распад суперпозиционных состояний и превращение их в смесь. Этот процесс называется декогеренцией, и выяснение природы его объясняет парадокс шрёдингерского кота. Декогеренция накладывает основное требование на физические элементы, предполагаемые к использованию в квантовых компьютерах: время сохранения когерентности состояний должно быть больше времени вычисления. Отсюда следует два способа избежать распада когерентности: найти квантовую систему, максимально изолированную от окружения, или увеличивать время когерентности искусственно.

Сейчас ведутся поиски хорошо изолированных квантовых систем. Изоляция полевых квантовых систем – мод поля – возможна в высокодобротных микрорезонаторах оптического и микроволнового диапазонов. Изоляция отдельных массивных частиц: атомов, молекул, ионов исторически начиналась с одномерной изоляции в пучках. Другими методами изоляции являются: квадрупольные ловушки, позволяющие удерживать один ион (концевая ловушка, приспособленная для облучения лазерными

пучками), или несколько (кольцевые квадрупольные ловушки); оптические ловушки для нейтральных атомов; методы матричной изоляции молекул в поликристаллических и аморфных средах, гелях, примесных центрах в кристаллах и молекул в пространственно-организованных биоструктурах: ДНК, белках, фотосинтетических антенных комплексах; квантовые точки; ядерные спины молекул, которые в силу экранирования оказываются сильно изолированными от влияния окружения и др. Из других физических проблем, связанных с реализацией идеи квантовых вычислений, следует выделить поиск конкретных процессов, выполняющих логические операции, например, метод динамического управления квантовомеханическим процессом туннелирования с помощью лазерного излучения.

Не исключено, что в природе квантовый компьютер давно уже существует. Высказывается мнение, что элементы квантового компьютеринга присутствуют в человеческом мышлении, и тогда квантовая информатика открывает новые перспективы для принципиального объяснения возможных алгоритмов мышления.

1.5 Проблема декогеренции

Квантовый компьютер находится на грани между микро- и макромиром, чем и обусловлены трудности его воплощения. Основным техническим препятствием для реализации квантового компьютера является **декогерентизация** - распад квантовых суперпозиций, обусловленный сверхчувствительностью микросистем к внешним воздействиям макромира. Если скорость декогерентизации не превосходит некоторого порогового значения, то применение квантовых кодов, исправляющих ошибки, теоретически позволяет сделать квантовые вычисления помехоустойчивыми. Однако при этом размер квантового регистра должен быть увеличен на порядки. Сейчас ведутся интенсивные поиски решения этих проблем: разработаны теоретические методы оптимизации архитектуры квантового компьютера, предложены схемы адиабатических вычислений, квантовых клеточных автоматов, вычислений, основанных на измерениях; обсуждается идея топологического квантового компьютера, физически устойчивого к ошибкам. Экспериментально исследуются модели кубитов, основанные на принципах ядерного магнитного резонанса, квантовой оптики и электродинамики, полупроводниковых квантовых точках, ионных ловушках, сверхпроводниковых мезо-структурах и т.д.

Процесс декогеренции, проявляющийся в быстром превращении чистого состояния в смесь при взаимодействии квантовой системы с окружающей средой, обладает некоторыми общими закономерностями, не зависящими от особенностей взаимодействия. Выбирая в качестве изолированного объекта гармонический осциллятор, который может моделировать многочисленные физические объекты, например, поле в резонаторе или колебания иона в ловушке, а в качестве начального его состояния - суперпозицию двух когерентных состояний, которые определяются одним комплексным параметром - средней амплитудой колебаний, мы получаем в рассмотрение наглядный пример состояния типа шрёдингеровского кота.

3. ИНФОРМАЦИЯ В КОСМОСЕ

Для начала рассмотрим простой пример. Пусть даны две изолированные системы (Вселенные). Каждая из них имеет одинаковую суммарную массу всего вещества, одинаковое количество всех видов энергии (потенциальной, кинетической и т.д.). Вопрос: можно ли утверждать, что эти две системы абсолютно тождественны? Ответ: конечно нет, т.к. в них может быть различное распределение и вещества и энергии по объёму, может быть различие по видам вещества и видам энергии и т.д.). Иными словами, в данных системах кроме этих двух величин (вещества и энергии) которые вроде самодостаточно характеризуют Вселенную (исходя из формулы $E=mc^2$) содержится еще некая базовая величина, которая и составляет суть этих различий. В теоретической физике на эту величину распространяют понятие информация, т.е. это информационная составляющая данного объекта (**Базовых составляющих нашего мира три: вещество, энергия, информация**).

Введение понятия информации во Вселенную позволяет рассматривать её как гигантский природный компьютер. Это возможно, поскольку физические объекты могут решать логические и математические задачи, хотя и не способны принимать исходные данные и выдавать результат в понятной для людей форме. Природные компьютеры хранят данные в дискретных квантовых состояниях элементарных частиц, а набор выполняемых ими команд определяется законами квантовой физики.

Все физические системы - компьютеры. Камни, атомные бомбы и галактики не могут работать под управлением операционных систем, но они регистрируют и обрабатывают информацию. Электроны, фотоны и другие элементарные частицы несут в себе информацию, которая изменяется каждый раз, когда частицы взаимодействуют

друг с другом. Физическое существование и информационное содержание неразрывно связаны. Наша Вселенная состоит из квантовых битов - кубитов.

Рассмотрим пределы вычислительной мощности обычной материи - например одного килограмма вещества, весом в 1 кг. Назовем наше гипотетическое устройство предельным ноутбуком. Источником питания для него служит просто вещество, непосредственно преобразуемое в энергию по формуле $E = mc^2$. Если направить всю энергию на управление битами, компьютер сможет выполнять 10^{51} операций в секунду. Объём памяти можно рассчитать с помощью термодинамики. Когда один килограмм вещества превращается в энергию в объёме 1 л, его температура равна 1 млрд. К, а энтропия, пропорциональная энергии, делённой на температуру, соответствует 10^{31} битам информации. Предельный ноутбук хранит данные в виде микроскопических движений и положений элементарных частиц внутри себя. При этом используется каждый отдельный бит, допускаемый законами термодинамики.

Взаимодействуя, частицы могут заставлять друг друга изменять состояние. Этот процесс можно рассматривать в терминах языка программирования: частицы - это переменные, а их взаимодействия - арифметические операции. Состояние каждого бита может изменяться 10^{20} раз в секунду, что эквивалентно тактовой частоте процессора в 100 гигагигагерц. На самом деле система действует слишком быстро, чтобы ею управлял тактовый генератор. Время, требуемое для изменения состояния бита, равно времени, в течение которого распространяется сигнал между двумя соседними частицами. Предельный ноутбук работает в предельно параллельном режиме: он действует не как один процессор, а как множество процессоров, работающих почти независимо и сравнительно медленно обменивающихся результатами.

Однокилограммовый кусок вещества, полностью преобразуемого в энергию, - это научное определение 20-мегатонной водородной бомбы. Взрывающееся ядерное оружие обрабатывает огромное количество информации, исходный состав которой задается начальной конфигурацией; результат обработки закодирован в испускаемом излучении.

Закон сохранения информации связан с законом неубывания энтропии. Распространено мнение, что закон неубывания энтропии, действуя в масштабах Вселенной, должен вести к постепенному достижению тепловой смерти - общемирового хаоса, в котором невозможен более никакой процесс. Однако, Вселенную нельзя считать термодинамической системой, в частности, по причине неаддитивности полной энергии вследствие преобладания гравитационного взаимодействия. Кроме того, Вселенная не является закрытой термодинамической системой, хотя бы из-за её бесконечности. Бесконечность здесь рассматривается или на одном уровне материи, или с учётом перехода от микро к макромиру согласно теории бесконечной вложенности материи. Даже любой отдельный объём не может быть полностью изолирован, так что рост в нём энтропии обязан сопровождаться уменьшением энтропии вокруг этого объёма, например за счёт изменения энтропии гравитационного поля, отслеживающего все изменения внутри объёма.

3.1 Тепловая смерть Вселенной

*Лучшее доказательство бессмертия то,
что нас категорически не устраивает
другой вариант.*

Р. Эмерсон

Впервые термодинамический аспект в космологии обозначил И. Ньютон. Он подметил эффект «трения» в часовом механизме Вселенной – тенденцию, которую потом назвали ростом энтропии. Ньютон не растерялся и призвал на помощь Господа Бога, который и стал следить за подзаводом и ремонтом этих «часов».

Термин «тепловая смерть» ввёл У. Томсон (лорд Кельвин) в 1852. Свой парадокс Кельвин назвал гипотезой тепловой смерти Вселенной. К нему он пришёл, анализируя проявляющуюся в природе общую тенденцию к рассеянию механической энергии. Он экстраполировал принцип возрастания энтропии на протекающие в природе крупномасштабные процессы. Подробный анализ гипотезы выполнен Р. Клаузиусом, который на основе 2-го закона термодинамики в 1865 экстраполировал принцип возрастания энтропии на Вселенную как целое. По словам Клаузиуса «общее состояние Вселенной должно всё больше и всё больше изменяться» в направлении, определяемом принципом возрастания энтропии и, следовательно, это состояние должно непрерывно приближаться к некоторому предельному состоянию. Клаузиус прибегнул в своих рассуждениях к следующим экстраполяциям: 1. Вселенная рассматривается как замкнутая система. 2. Эволюция мира может быть описана как смена его состояний. Для мира как целого состояния с максимальной энтропией это имеет смысл, как и для любой конечной системы.

Таким образом, термин «тепловая смерть» относится к любой замкнутой системе, но наибольший интерес представляет его приложение именно к судьбе нашей Вселенной.

Тепловая смерть - термин, описывающий конечное состояние любой замкнутой термодинамической системы, и Вселенной в частности. При этом никакого направленного обмена энергией наблюдаться не будет, так как все виды энергии перейдут в тепловую. Термодинамика рассматривает систему, находящуюся в состоянии тепловой смерти, как систему, в которой термодинамическая энтропия максимальна.

Тепловая смерть Вселенной означает, что все виды энергии во Вселенной в конце концов должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по веществу Вселенной, после чего в ней прекратятся все макроскопические процессы. Согласно второму началу, любая физическая система, не обменивающаяся энергией с другими системами (для Вселенной в целом такой обмен, очевидно, исключен), стремится к наиболее вероятному равновесному состоянию - к состоянию с максимумом энтропии. Такое состояние соответствовало бы тепловой смерти Вселенной.

Энтропия - абстрактное понятие беспорядка энергии. Этот беспорядок связан с уменьшением пригодности энергии для преобразования в работу. Энергия всегда становится недоступной, если процессы уменьшают её интенсивность, распространяя её по Вселенной. Если энергия распределена среди бесчисленных молекул Вселенной, разница температур самых холодных и самых теплых участков уменьшается. Если разница температур уменьшается, тепловая энергия, которую можно преобразовать в полезную работу, также уменьшается. Следовательно, любой процесс, который производит увеличение энтропии, уменьшает энергию для будущих процессов. В конечном счёте наступит момент, когда энтропия Вселенной приблизится к максимальному значению, и преобразование теплоты в работу станет невозможным.

В адиабатически изолированной термодинамической системе энтропия не может убывать: она или сохраняется, если в системе происходят только обратимые процессы, или возрастает, если в системе протекает хотя бы один необратимый процесс. Изолированная термодинамическая система стремится к максимальному значению энтропии, при котором наступает состояние термодинамического равновесия. Если система не является изолированной, то в ней возможно уменьшение энтропии. Примером такой системы - обычный холодильник, внутри которого возможно уменьшение энтропии. Но для таких открытых систем это локальное понижение энтропии всегда компенсируется возрастанием энтропии в окружающей среде, которое превосходит локальное её уменьшение. Если рассмотреть Вселенную как адиабатически изолированную термодинамическую систему, то, учитывая её бесконечный возраст, на основании закона возрастания энтропии можно сделать вывод о достижении ею максимума энтропии, т. е. состояния термодинамического равновесия. Но в реально окружающей нас Вселенной этого не наблюдается (*что скорее свидетельствует о юном возрасте нашей Вселенной, чем о неверности концепции о её возможной тепловой смерти*).

На опровержение тезиса о тепловой смерти Вселенной сразу были брошены большие силы. А как же! Ведь возникло противоречие между идеей тепловой смерти Вселенной и коренными положениями материализма о бесконечности мира в пространстве и времени. Если бы учение об энтропии, было правильным, то предполагаемому им «концу» мира должно было бы соответствовать и «начало», минимум энтропии, когда температурное различие между обособленными частями Вселенной было бы наибольшим. Парадокс выступал как противоречие между выводом Клаузиуса и принципом бесконечности мира во времени, согласно космологии Ньютона. Тепловая смерть Вселенной, даже если бы она произошла в каком-то отдаленном будущем, пусть даже через миллиарды или десятки миллиардов лет, все равно ограничивает «шкалу времени» человеческого прогресса. *(Не ясно, правда, какое дело Вселенной до человека и его прогресса: Природа миллиарды лет прекрасно существовала без человека, и надо полагать будет прекрасно существовать ещё миллиарды лет после его исчезновения)*.

В какой-то момент даже стало казаться, что тезис тепловой смерти опровергнут. Однако в последнее время появились свидетельства, что тепловая смерть Вселенной вполне возможна и даже неизбежна.

Остановимся на этом вопросе несколько подробнее.

Больцман полагал по вероятностной трактовке второго начала, что Вселенная бесконечна в пространстве и во времени. Почти всегда она пребывает в равновесном изотермическом состоянии, т.е. в состоянии тепловой смерти. Но иногда в некоторых её районах возникают крайне маловероятные отклонения от обычного состояния Вселенной, к которым принадлежит Земля и весь видимый космос. Отклонения происходят тем реже, чем большую область захватывают и чем значительнее степень отклонения. Математическое моделирование опровергло подход Больцмана. Расчеты показали, что возникновение такой гигантской в пространстве флуктуации, как наблюдаемый нами космос, где температуры доходят до миллионов градусов, практически равна нулю. С философской стороны гипотеза

Больцмана неприемлема, что материя в ней фактически всегда пребывает в состоянии тепловой смерти. К.П.Станюкович для объяснения термодинамического парадокса применил теорию множеств. По его гипотезе бесконечная в пространстве и времени Вселенная должна проходить в процессе своего развития через бесчисленное множество внутренних состояний, причем это множество обладает мощностью континуума. Такие состояния Вселенная не может пройти за конечное время. И хотя энтропия всегда возрастает, она никогда не достигнет максимума, а значит, Вселенная никогда не придёт к состоянию тепловой смерти. Этот подход, однако, мало что объясняет, хотя бы потому, что Вселенная конечна, как в пространстве, так и во времени.

Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц утверждали, что любая замкнутая система может достигнуть максимума энтропии лишь при постоянных неизменных внешних условиях. А гравитация как свойство четырёхмерного пространства-времени во Вселенной весьма непостоянна. Отсюда по их мнению следует, что Вселенная никогда не придет к состоянию мертвого равновесия.

«Второе начало» термодинамики, по существу, утверждает необратимость всех процессов в Природе. Это означает, что Природа развивается, никогда не повторяя свои предшествующие состояния. Следовательно, Вселенная в том виде, в каком мы её знаем, вышла из какого-то иного, неизвестного нам состояния материи и перейдет со временем в какие-то другие формы существования. Вполне возможно, что для таких форм нынешние, известные нам законы Природы окажутся неприменимыми, но это вовсе не означает смерть Вселенной, а лишь завершение одного из этапов развития материи. Этот тезис не только не опровергает возможность тепловой смерти, но наоборот свидетельствует о том, что Вселенная в ходе эволюции многократно проходит через стадию тепловой смерти.

Новый этап анализа термодинамического парадокса в (30 – 60-е годы XX века) ознаменовал собой переход к разработке термодинамики Вселенной в рамках теории А.А. Фридмана. Обсуждались как принцип Клаузиуса, так и новая модель, в которой возможна необратимая эволюция Вселенной без достижения максимума энтропии. Но параллельно развивался «антиэнтропийный подход», цель которого состояла в том, чтобы любой ценой опровергнуть принцип Клаузиуса, а исходной абстракцией был образ бесконечной Вселенной. Энергичными сторонниками принципа Клаузиуса выступали, например, А. Эддингтон и Дж. Джинс. Вывод Клаузиуса был ими транслирован в неклассическую картину мира. Изменился прежде всего объект экстраполяции – Вселенная как целое. Качественно новые черты начала приобретать разработка проблемы термодинамики Вселенной на протяжении 80-х годов. Новая наука - синергетика, в частности, теория диссипативных структур позволяет глубже, чем ранее понять специфику нашей Вселенной как самоорганизующейся, саморазвивающейся системы. Основную цель подхода, основанного на статистической теории неравновесных процессов, И. Пригожин выразил так: «...мы отходим от замкнутой Вселенной, в которой все задано, к новой Вселенной, открытой флуктуациям, способной рождать новое». Сейчас Вселенную понимают, как термодинамически открытую неравновесную систему, возникшую в результате гигантской флуктуации физического вакуума. Причём при анализе поведения Вселенной как целого отброшено то, что Пригожин назвал «путеводным мифом классической науки» – принцип «неограниченной предсказуемости» будущего. Для нелинейных диссипативных структур это связано с необходимостью учета «ограничений», обусловленных нашим действием на природу». Эта теория по-новому ставит проблему законов и начальных условий в космологии, снимает противоречия между динамикой и термодинамикой. Вселенная может подчиняться законам, асимметричным по отношению к прошлому и будущему – что несколько не противоречит фундаментальности принципа возрастания энтропии, его космологической экстраполируемости.

Теория Пригожина по-новому оценивает роль и вероятность макроскопических флуктуаций во Вселенной, хотя прежний механизм этих флуктуаций с современной точки зрения иной, чем у Больцмана. Флуктуации перестают быть чем-то исключительным, становятся вполне объективным проявлением спонтанного возникновения нового во Вселенной. Теория Пригожина позволяет ответить на вопрос почему – вопреки принципу Клаузиуса – повсюду во Вселенной мы наблюдаем не процессы монотонной деградации, а напротив, процессы становления, возникновения новых структур. Переход от «физики существующего» к «физике возникающего» произошел за счёт синтеза представлений, казавшихся взаимоисключающими в прежних концептуальных рамках. Некоторые считают, что в процессе самоорганизации энтропия системы может уменьшаться. Такая точка зрения означает, что в ходе эволюции Вселенной происходит непрерывное усложнение организации структурных уровней природы, причём этот процесс носит направленный характер. Природой как бы запасен определенный набор потенциально возможных (то есть допустимых в рамках её законов) типов организации и по мере развертывания единого мирового процесса в нём оказывается «задействованным» всё большее количество этих структур.

Более последовательный учёт флуктуационных эффектов заставляет признать физически нетождественными понятия «статистического» и «термодинамического» равновесия. Оказывается справедливым вывод, находящийся в полном противоречии с «общепринятым»: функциональная связь между ростом энтропии и стремлением системы к более вероятному состоянию отсутствует. Не исключены и такие процессы, в которых переход систем в более вероятное состояние может сопровождаться уменьшением энтропии! Учёт флуктуаций в проблемах термодинамики Вселенной может привести к обнаружению физических границ принципа возрастания энтропии. Более того, возможно, что принцип возрастания энтропии неприменим к некоторым типам существенно нелинейных систем. Не исключена заметная «концентрация флуктуаций» в биоструктурах.

Современной космологией установлено, что все ранние попытки опровержения тезиса о тепловой смерти Вселенной ошибочны. Однако, поскольку опровергнуть всё-таки очень хочется, то на современном этапе тепловую смерть опровергают учётом дополнительных физических факторов, прежде всего - тяготения. С учётом тяготения однородное изотермическое распределение вещества вовсе не является наиболее вероятным и не соответствует максимуму энтропии. Наблюдения показывают, что Вселенная резко нестационарна. Она расширяется, и почти однородное в начале расширения вещество в дальнейшем под действием сил тяготения распадается на отдельные объекты, образуются скопления галактик, галактики, звёзды, планеты. Все эти процессы естественны, идут с ростом энтропии и не требуют нарушения законов термодинамики. Они и в будущем с учётом тяготения не приведут к однородному изотермическому состоянию Вселенной, т.е. к тепловой смерти, ибо Вселенная всегда нестатична и непрерывно эволюционирует. Силы тяготения могут привести к образованию структуры из хаоса, могут породить Звёзды из Космической пыли (*Из того, что они могут, впрочем, отнюдь не следует, что они это делают*).

Несмотря на появление все новых моделей и схем, в которых тепловая смерть отсутствует, никакого «окончательного» разрешения термодинамического парадокса пока не достигнуто. Все попытки разубить «гордиев узел» проблем, связанных с принципом Клаузиуса, неизменно приводили лишь к частичным, отнюдь не строгим и не окончательным выводам. Содержавшиеся в них неясности порождали всё новые проблемы и пока нет надежды, что успеха удастся достигнуть в обозримом будущем. Можно назвать несколько причин, объясняющих, с одной стороны, эвристичность этого принципа, который до сих пор не вызывает ничего, кроме раздражения, у догматиков – безразлично, естествоиспытателей или философов, с другой – неудачи его критиков. Первое – сложности любых противостоящих этому принципу «игр с бесконечностью», каковы бы ни были их концептуальные основания. Вторая причина – использование неадекватного смысла термина «Вселенная как целое» – все еще обычно понимаемого в значении «всего существующего». Неопределенность этого термина резко противостоит чёткости формулировки самого принципа Клаузиуса. Понятие «Вселенная» в этом принципе не конкретизировано, но именно потому и возможно рассматривать проблему его применимости к различным вселенным, конструируемым средствами теоретической физики и интерпретируемым как «всё существующее» лишь с точки зрения данной теории (модели).

Для ответа на вопрос возможна ли тепловая смерть Вселенной, нужно хотя бы определить относится ли Вселенная к изолированной системе или нет. Но даже на этот вопрос наука ответить не может, не говоря уже обо всём остальном....

3.2 Энтропия Вселенной

Энтропия вселенной - величина, характеризующая степень неупорядоченности и тепловое состояние Вселенной. Количественно оценить полную энтропию вселенной как энтропию Клаузиуса нельзя, поскольку Вселенная не является термодинамической системой. Действительно, из-за того, что гравитационное взаимодействие является дальнедействующим и незранируемым, гравитационная энергия Вселенной не пропорциональна её объёму. Например, в ньютоновском приближении гравитационную энергию сферической массы M с однородной плотностью ρ можно оценить по формуле: $U \approx -GM^2V^{-1/3}$, где G – ньютоновская гравитационная постоянная, V – объём. Полная энергия Вселенной тоже не пропорциональна объёму и поэтому не является аддитивной величиной. Кроме того, Вселенная расширяется, т.е. нестационарна. Оба этих факта означают, что Вселенная не удовлетворяет исходным аксиомам термодинамики об аддитивности энергии и существовании термодинамического равновесия. Поэтому Вселенная, как целое, не характеризуется и какой-либо одной температурой.

Оценить энтропию вселенной как энтропию Больцмана $kLnW$, где k – постоянная Больцмана, W – число возможных микросостояний системы, также нельзя, поскольку Вселенная не «пробегаёт» все возможные состояния, а эволюционирует от одного состояния к другому. Иными словами, для всей Вселенной нельзя ввести статистический ансамбль Гиббса, т.к. нельзя пренебречь гравитационным взаимодействием членов такого ансамбля. Однако во Вселенной можно выделить подсистемы, к которым

применимо термодинамическое статистическое описание, и вычислить их энтропию. Такими подсистемами являются, например, все компактные объекты (звёзды, планеты и др.). Но полная энтропия всех наблюдаемых компактных объектов ничтожна по сравнению с энтропией, содержащейся в тепловом реликтовом микроволновом фоновом излучении с температурой $T=2,73\text{K}$.

Полная энтропия в единице сопутствующего веществу объёма Вселенной, связанная с безмассовыми частицами, мало изменяется, начиная с очень ранних стадий эволюции Вселенной – по крайней мере при $t>1$ с после космологической сингулярности. Иначе говоря, расширение вселенной идёт практически адиабатически.

Причиной, мешающей ввести понятие энтропии Вселенной, является неограниченность по пространству и нестационарность крупномасштабного гравитационного поля вселенной. Однако эта часть гравитационного поля весьма упорядочена – Вселенная почти однородна и изотропна в достаточно больших масштабах. Поэтому естественно предположить, что с крупномасштабным гравитационным полем не связано никакой существенной энтропии, как бы мы её не определяли. Окружающая нас часть Вселенной далека от максимально неупорядоченного состояния. Вероятно, именно эта неравновесность наблюдаемой Вселенной является причиной справедливости 2-го начала термодинамики для всех замкнутых подсистем в ней.

Энтропию Вселенной также характеризуют с помощью безразмерной удельной энтропии – энтропии, приходящейся на один барион. Тот факт, что полная удельная энтропия Вселенной $S_{\text{уд}} \gg 1$, свидетельствует о том, что в прошлом Вселенная была горячей, радиационно доминированной. Энтропию вселенной, как целого можно оценить, используя понятие энтропии Колмогорова-Синяя (К-энтропии). К-энтропия является мерой хаотичности и неустойчивости, она связана со средней скоростью разбегания близких в начальный момент траекторий. Причём К-энтропия тем больше, чем быстрее разбегаются траектории, т.е. чем сильнее неустойчивость траекторий и хаотичнее система. Однородное распределение вещества гравитационно неустойчиво; развитие неустойчивости приводит к образованию отдельных сгустков. При гравитационном сжатии сгустка гравитационная энергия вещества переходит в тепловую энергию движения частиц. Поэтому образование звёзд и галактик из равномерно распределено вещества сопровождается ростом К-энтропии. Таким образом, в рамках этого предложения для Вселенной справедлив закон роста энтропии, хотя она и не является термодинамической системой и в ходе эволюции структурно более сложной.

В ходе рассуждений о «тепловой смерти» Вселенной Клаузиус ввёл некоторую математическую величину, названную им энтропией. По сути дела энтропия служит мерой степени беспорядка, степени хаотичности состояния физической системы. Второе начало термодинамики гласит, что энтропия изолированной физической системы никогда не убывает, - в крайнем случае она может сохранять своё значение неизменным. Всякие естественные процессы сопровождаются возрастанием энтропии Вселенной; такое утверждение часто называют принципом энтропии. Также энтропия характеризует условия, при которых запасается энергия: если энергия запасается при высокой температуре, ее энтропия относительно низка, а качество, напротив, высоко. С другой стороны, если то же количество энергии запасается при низкой температуре, то энтропия, связанная с этой энергией, велика, а её качество - низко.

Возрастание энтропии является характерным признаком естественных процессов и соответствует запасанию энергии при всё более низких температурах, т.е. естественное направление процессов изменения характеризуется понижением качества энергии. Такое истолкование связи энергии и энтропии, при котором энтропия характеризует условия запасания и хранения энергии, имеет большое практическое значение. Первое начало термодинамики утверждает, что энергия изолированной системы (а возможно, и всей Вселенной) остаётся постоянной. Поэтому, сжигая ископаемое топливо - уголь, нефть, уран - мы не уменьшаем общих запасов энергии. В этом смысле энергетический кризис вообще невозможен, так как энергия в мире всегда будет оставаться неизменной. Однако, сжигая горсть угля и каплю нефти, мы увеличиваем энтропию мира, поскольку все названные процессы протекают самопроизвольно. Любое действие приводит к понижению качества энергии Вселенной. Поскольку в промышленно развитом обществе процесс использования ресурсов стремительно ускоряется, то энтропия Вселенной неуклонно возрастает. Нужно стремиться направить развитие цивилизации по пути снижения уровня производства энтропии и сохранения качества энергии.

Р. Клаузиус выдвинул два постулата: энергия Вселенной всегда постоянна; энтропия Вселенной всегда возрастает, что ведёт к тепловой смерти Вселенной. Если даже энтропия Вселенной всегда возрастает (что не доказано!), то это ещё не значит, что Вселенную ждёт бесславный конец. Но и первый постулат о постоянстве энергии Вселенной в настоящее время вызывает большие сомнения. Ещё Э. Нетер строго показала, что сохранение энергии есть следствие однородности времени. Однако, гипотеза Большого Взрыва предусматривает неоднородность времени, которая особенно велика при возникновении Вселенной. Возникновение Вселенной это возникновение энергии и энтропии-

информации. Жизнь, человек, его разум существуют потому, что на поздних стадиях эволюции Вселенной неоднородность времени хоть и мала, но присутствует. Это означает, что энергия Вселенной не сохраняется, а растёт. Если энергия системы растёт, то растёт и энтропия Вселенной. Теорема Э. Нетер и существующие сегодня теории возникновения Вселенной утверждают несохранение энергии в этом процессе. Это необходимо признать в явной форме. Сохранение энергии в строгом виде означает только то, что для возникающей вновь энергии должен быть указан источник этой энергии. Сегодня он известен - время как материальная физическая переменная и его необратимость.

3.3 Стрела времени

Энтропия - связь между макро и микро состояниями, единственная функция в физике, которая показывает направленность процессов. Функция состояния системы, которая не зависит от перехода из одного состояния в другое, а зависит только от начального и конечного положения системы.

Второе начало термодинамики устанавливает наличие в природе фундаментальной асимметрии, т. е. односторонности всех происходящих в ней самопроизвольных процессов. Об этой асимметрии свидетельствует всё окружающее нас: горячие тела с течением времени охлаждаются, однако холодные сами по себе не становятся горячими; прыгающий мяч в конце концов останавливается, однако покоящийся мяч самопроизвольно не начнёт подскакивать. Здесь проявляется то свойство природы, которое Кельвин и Клаузиус смогли отделить от свойства сохранения энергии. Оно состоит в том, что, хотя полное количество энергии должно сохраняться в любом процессе, распределение имеющейся энергии изменяется необратимым образом. Второе начало термодинамики указывает естественное направление, в котором происходит изменение распределения энергии, причём это направление совершенно не зависит от её общего количества. При всех превращениях различные виды энергии в конечном счете переходят в тепло, которое, будучи предоставлено себе, рассеивается в мировом пространстве. Так как такой процесс рассеяния тепла необратим, то рано или поздно все звёзды погаснут, все активные процессы в Природе прекратятся, и наступит тепловой смерть Вселенной.

Об изменении состояния систем классическая термодинамика судит по увеличению их энтропии. Поэтому она и выступает в качестве своеобразной стрелы времени, которая показывает, в каком направлении совершается процесс. Термин «стрела времени» предложил английский астрофизик А. Эддингтон для образного представления течения времени. В механических системах о направлении времени говорить не приходится. Термодинамические процессы, а тем более реальные природные процессы, необратимы. Достижение классической термодинамики состоит в том, что она впервые ввела в физику понятие времени, правда, в своеобразной форме, а именно в форме необратимого процесса возрастания энтропии в системе. Чем выше энтропия системы, тем больший временной промежуток она прошла в своей эволюции. Но в реальной жизни понятие времени ассоциируется не только с ростом энтропии и беспорядка, но и с увеличением порядка, организации и совершенствования систем. Это противоречие попыталась разрешить неравновесная термодинамика, которая опирается не только на понятие о необратимых процессах, но и на возможность возникновения порядка за счет энергии и вещества из окружающей среды.

Вопрос об энтропии Вселенной тесно связан с проблемой объяснения необратимой временной эволюции Вселенной от прошлого к будущему, направленной в одну сторону для всех наблюдаемых её подсистем. Известно, что законы механики, электродинамики, квантовой механики обратимы во времени. Уравнения, описывающие эти законы, не изменяются при замене t на $-t$. Квантовая инвариантность означает, что любой физический процесс с элементарными частицами может быть осуществлён как в прямом, так и обратном направлении времени (с заменой частиц на античастицы и с пространственной инверсией). Здесь нет стрелы времени. Пока известен единственный физический закон – второе начало термодинамики – который содержит утверждение о необратимой направленности процессов во времени. Он задаёт термодинамическую стрелу времени: энтропия растёт в будущее.

В отличие от замкнутых систем открытые системы обмениваются с окружающей средой энергией, веществом и информацией. Все реальные системы являются именно открытыми. В неорганической природе они обмениваются с внешней средой энергией и веществом. В биологических, социальных и гуманитарных системах к этому добавляется ещё обмен информацией. В открытых системах также производится энтропия, поскольку в них происходят необратимые процессы, но энтропия в этих системах не накапливается, как в закрытых системах, а выводится и рассеивается в окружающей среде. Поскольку энтропия характеризует степень беспорядка в системе, постольку можно утверждать, что открытые системы живут за счет заимствования порядка из внешней среды.

Отметим, что понятия времени и эволюции по-разному интерпретировались в классической термодинамике, с одной стороны, и в биологии, социологии и истории — с другой. Стрела времени

связывалась в термодинамике с возрастанием энтропии системы, с усилением её беспорядка и дезорганизации, тогда как в биологии и социологии она характеризует, наоборот, становление и совершенствование системы, увеличение в ней порядка и организации. Связано это с тем, что в термодинамике обычно рассматриваются закрытые системы, тогда как биологии и гуманитарных науках – открытые.

Одно из первых определений понятия открытой системы принадлежит одному из создателей квантовой механики, австрийскому физика Э. Шрёдингеру (1887—1961), который сформулировал его в своей книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика». В ней он ясно указал, что законы физики лежат в основе образования биологических структур, и подчеркнул, что характерная особенность биологических систем состоит в обмене энергией и веществом с окружающей средой.

Взаимодействуя с окружающей средой, открытая система (например, живой организм) не может оставаться замкнутой, ибо она вынуждена заимствовать извне либо новое вещество, либо свежую энергию и одновременно выводить в окружающую среду использованное вещество и отработанную энергию. В ходе своей эволюции система постоянно обменивается энергией и веществом с окружающей средой, а следовательно, производит энтропию. Но в отличие от закрытых систем эта энтропия не накапливается в ней, а удаляется в окружающую среду. Это означает, что использованная, отработанная энергия рассеивается в окружающей среде и взамен ее из среды извлекается новая, свежая энергия, способная производить полезную работу. Поэтому открытая система в своем развитии не может оставаться равновесной: её функционирование требует непрерывного поступления из внешней среды энергии или вещества, богатого энергией. В результате такого взаимодействия система извлекает порядок из окружающей среды и тем самым вносит беспорядок в эту среду. Очевидно, что с поступлением новой энергии или вещества неравновесность в системе возрастает. Прежняя взаимосвязь между элементами системы, которая определяет её структуру, со временем разрушается. Между элементами системы возникают новые связи, которые приводят к коллективному поведению элементов системы. Так схематически могут быть описаны процессы самоорганизации в открытых системах.

Другие стрелы времени связаны с выбором специальных начальных или граничных условий для уравнений, описывающих фундаментальные физические взаимодействия. Например, электродинамическая стрела времени определяется выбором излучающего граничного условия на пространственной бесконечности для уединённого источника, не все стрелы времени эквивалентны: если термодинамические и электродинамические стрелы считаются совпадающими, то космологическая стрела не связана с ними каким-либо причинным взаимодействием. В частности, нет оснований ожидать, что если какая-то часть Вселенной из-за гравитационной неустойчивости перестанет расширяться и начнёт сжиматься, то в ней изменят своё направление электродинамической и термодинамической стрелы времени. Однако вопрос о взаимообусловленности этих стрел времени и их связи с психологической стрелой времени (ощущением каждым человеком необратимого течения времени от прошлого через настоящее в будущее) остаётся в значительной степени открытым.

3.4 Информационные проблемы чёрных дыр

В Мире действует закон сохранения информации, но в случае с чёрными дырами возникла ситуация, при которой информация необратимо исчезала.

Известно, что каждое событие однозначно связано с его причиной (т.е. есть неразрывная цепочка событий). Это приводит к теоретической возможности обратить процесс вспять, т.е. из следствия установить *однозначную* его причину. Но в чёрной дыре необратимо исчезает следствие (не только вещество-носитель информации, но и сама информация о причинах приведших к данному событию), а значит при этом неизбежно должна исчезнуть и причина этого следствия, т.е. вселенная обязана «задним числом» подправлять свою историю. В теоретической физике долго не могли решить парадокс существования чёрных дыр именно по причине нарушения ими причинно-следственных связей в связи с необратимым поглощением вещества-носителя информации. Тут получалось, что информация из вселенной исчезает необратимо, а это нарушает принцип обратимости любого события.

Напомним, что согласно традиционным представлениям, чёрные дыры - объекты настолько плотные, что ничто, даже свет, не может их покинуть. Согласно доквантовой физике, проникнув за внешнюю границу дыры (горизонт событий), ни само вещество, ни сведения о нём не могут покинуть её. Материя падает в центр дыры (сингулярность), где её масса ассимилируется, а информация о ней исчезает. Ввод информации в дыру не представляет никаких трудностей, но, согласно общей теории относительности, получить её обратно невозможно. Вещество, входящее в дыру, ассимилируется, и подробности его строения теряются безвозвратно.

Судя по всему, это не совсем верно. Еще в середине 1970-х физики предположили, что из чёрной дыры может просочиться энергия. Квантовая механика допускает наличие излучения из чёрных дыр: они светятся, как раскаленный уголь. Однако излучение носит случайный характер и не несёт никакой информации о том, что попало в дыру. Если бы туда провалился слон, возникло бы эквивалентное ему количество энергии, которая, впрочем, была бы мешаниной, и ее никак нельзя было бы использовать для воссоздания животного. Столь очевидная потеря информации весьма загадочна...

Сегодня многие считают, что наружу также может вырваться и информация (описывающая форму, которую принимает энергия). Учёт квантовых эффектов показал, что чёрная дыра всё же что-то переизлучает и на каждый «квант» поглощения например вещества (содержащего себе всю информацию о всех прошлых взаимодействиях с ним) выделяет «квант» в виде тёмной материи, причём «промодулированный» соответствующим «квантом» информации со знаком минус (иначе ещё называемой чёрной или отрицательной информацией). По-видимому, требование квантовой механики в форме закона сохранения информации выполняется и в случае чёрных дыр: испускаемое излучение не случайно, а представляет собой результат информационной обработки упавшего в чёрную дыру вещества.

Рассмотрим теперь чёрную дыру как некоторый компьютер.

Если любой кусок вещества - это компьютер, то чёрная дыра - это компьютер, сжатый до наименьшего возможного размера. По мере сжатия гравитация становится всё больше, и, в конечном счёте, никакой материальный объект не может покинуть его. Размер чёрной дыры, называемый радиусом Шварцшильда, прямо пропорционален её массе. Чёрная дыра с массой один килограмм имеет радиус 10^{-27} м. (радиус протона 10^{-15} м.) Сжатие компьютера не влияет на содержащуюся в нём энергию, так что он, как и прежде, может выполнять 10^{51} операций в секунду. Изменяется ёмкость памяти. Когда тяготение несущественно, ёмкость пропорциональна числу частиц и, т.е. объёму устройства. Но когда гравитация доминирует, она связывает частицы, так что все вместе они способны хранить меньшее количество информации. Полная ёмкость памяти чёрной дыры пропорциональна площади её поверхности. Однокилограммовая чёрная дыра может хранить 10^{16} битов, т.е. намного меньше, чем тот же самый компьютер до его сжатия. Зато чёрная дыра - намного более быстрый процессор. Фактически время изменения состояния бита, 10^{-35} с, равно времени, которое требуется свету, чтобы пройти от одного края компьютера до другого. Таким образом, в отличие от предельного ноутбука, который выполняет все вычисления параллельно, чёрная дыра представляет собой последовательный компьютер, в состав которого входит один-единственный процессор.

Предельный ноутбук и сингулярный компьютер представляют собой воплощение двух различных способов увеличения вычислительной мощности. **Предельный ноутбук** - это идеальный параллельный компьютер, т.е. несметное множество процессоров, работающих одновременно. Чёрная дыра - это идеальный последовательный компьютер: единственный сверхмощный процессор, выполняющий инструкции по одной. Предельный ноутбук состоит из набора частиц, которые хранят и обрабатывают биты. Каждая частица выполняет команду за 10^{-20} с. За это время сигнал может пройти не более $3 \cdot 10^{-12}$ м. Именно таково среднее расстояние между частицами. Поэтому обмен данными идет значительно медленнее, чем вычисления. Отдельные части компьютера работают почти независимо. **Сингулярный компьютер** также состоит из набора частиц. Из-за влияния гравитации они хранят меньшее количество битов. Но на каждый бит приходится больше энергии, и поэтому каждая команда выполняется за 10^{-35} с. За это время сигнал успевает пересечь чёрную дыру. Поэтому в данном случае информационный обмен и вычисления идут с одинаковой скоростью. Компьютер работает как единый суперпроцессор.

Как мог бы работать сингулярный компьютер? Ввод данных трудности не составит: их нужно лишь закодировать в виде вещества или энергии и сбросить в дыру. Готовя должным образом материал, который попадает в дыру, можно программировать её работу так, чтобы производить любое вычисление. Как только материал входит в дыру, он становится недоступным; роковая черта - так называемый горизонт событий. Упавшие в дыру частицы взаимодействуют между собой, выполняя вычисления за конечное время, пока не достигнут центра дыры, где они перестают существовать.

Сингулярность: математическая сингулярность - точка, в которой математическая функция стремится к бесконечности или имеет какие-либо иные нерегулярности поведения. Гравитационная сингулярность - область пространства-времени, в которой кривизна пространственно-временного континуума обращается в бесконечность или терпит разрыв, либо метрика обладает иными патологическими свойствами, не допускающими разумной физической интерпретации. Астрофизики используют термин сингулярность при описании космических чёрных дыр и в некоторых теориях начала Вселенной - точка с бесконечно большой массой и температурой и нулевым объёмом.

Чёрную дыру можно представить не как неизменный объект, а как короткоживущий сгусток вещества, выполняющий вычисления с максимально возможной в мире скоростью. Чёрная дыра испускает

излучение, которое является результатом переработки информации, поступившей в дыру в процессе её формирования. Вещество не может покинуть чёрную дыру, а его информационное содержание - может. Информационный побег обеспечивает квантовая сцеплённость состояний (частица квантово-механически сцеплена с падающим в дыру партнёром, который в свою очередь сцеплен с другой материей), при которой свойства двух или нескольких систем остаются коррелированными, несмотря на их удаленность в пространстве и во времени. Сцеплённость допускает телепортацию, при которой информация передается от одной частицы к другой с такой точностью, словно частица фактически переносится из одного места в другое со скоростью света. Сцепление «выносит» информацию о частице наружу.

Чтобы продемонстрировать телепортацию в лаборатории, сначала требуется получить две сцеплённые частицы. Затем проводится измерение одной из них совместно с веществом, содержащим информацию, которую нужно передать. Измерение стирает информацию, находящуюся в исходном месте, но из-за сцеплённости она в закодированной форме оказывается на второй частице независимо от её удаленности. Информацию можно извлечь, используя в качестве ключа результаты измерения. Подобный механизм сработал бы и в чёрных дырах. Например, на горизонте событий материализуются пары сцепленных фотонов. Один из них летит наружу и становится излучением, выходящим из дыры, которое видит наблюдатель. Другой проваливается внутрь и попадает в сингулярность. Исчезновение попавшего в дыру фотона действует как измерение, передавая информацию, содержащуюся в веществе, выходящему излучению. Отличие от лабораторной телепортации состоит в том, что для декодирования информации результаты «измерения» не нужны.

Аннигиляция фотона не предлагает разнообразия возможных результатов, т.к. фотон только один. Наблюдатель, находящийся вне дыры, может вычислить его, используя базовые законы физики, и получить доступ к информации. Этот сценарий не укладывается в рамки обычной квантовой механики, но при всей своей спорности он не лишен здравого смысла. Так же, как начальная сингулярность при возникновении Вселенной, вероятно, имела только одно возможное состояние, не исключено, что конечные сингулярности в чёрных дырах тоже имеют единственное состояние.

Предложены и другие механизмы побега информации из чёрной дыры, базирующиеся на квантовых явлениях. Мы на них останавливаться не будем.

Свойства чёрных дыр неразрывно связаны со свойствами пространства-времени. Если чёрные дыры можно рассматривать как компьютеры, то же самое относится непосредственно к пространству-времени. Квантовая механика предсказывает, что пространство-время, как и другие физические системы, дискретно. Расстояния и интервалы времени невозможно измерить с бесконечной точностью, т.к. в малых масштабах пространство-время выглядит как пузыристая пена. Максимальное количество информации, вмещающееся в некоторую область пространства, зависит от того, насколько малы биты, которые не могут быть меньше ячеек пены пространства-времени. Размер ячеек сопоставим с длиной Планка l_p (примерно 10^{-35} м). При таких масштабах важны и квантовые колебания, и гравитационные эффекты. Если оценка верна, то нам никогда не удастся непосредственно наблюдать пенистую структуру пространства-времени. Но сейчас показано, что ячейки намного больше и не имеют никакого фиксированного размера: чем больше область пространства-времени, тем больше образующие его ячейки.

Приняв во внимание странную зависимость флуктуаций пространства-времени от кубического корня из расстояния, можно вывести формулу для объема памяти чёрной дыры. Отсюда же следует и универсальное ограничение на все сингулярные компьютеры: число битов памяти пропорционально квадрату скорости вычислений. Коэффициент пропорциональности Gh/c^5 , математически связывает информацию и частную теорию относительности (где определяющим параметром является скорость света c с общей теорией относительности (гравитационная постоянная G) и квантовой механикой h . Отсюда вытекает голографический принцип, согласно которому наша трёхмерная Вселенная на самом деле двумерна. Максимальное количество информации, которое может хранить любая область пространства, пропорционально не объему, а площади её поверхности.

Принципы вычислений можно применить не только к самым компактным (чёрные дыры) и самым крошечным (пена пространства-времени) компьютерам, но и к величайшему среди них - к Вселенной. Вселенная вполне может быть бесконечной в пространстве, но она существует в течение конечного отрезка времени, по крайней мере - в её существующей форме. Наблюдаемая её часть составляет в поперечнике несколько десятков миллиардов световых лет. Чтобы мы могли узнать результаты вычислений, всё должно происходить в пределах этого пространства.

За время существования Вселенной в ней выполнено не более 10^{123} действий. Сопоставьте этот предел с поведением видимой материи, тёмной материи и так называемой тёмной энергии, которая заставляет Вселенную расширяться со всё возрастающей скоростью. Наблюдаемая космическая плотность

энергии - около 10^{-9} Дж/м³, так что Вселенная содержит 10^{72} Дж энергии. Согласно теореме Марголуса-Левитина, Вселенная может выполнять до 10^{106} действий в секунду, что и даёт общее количество действий 10^{123} за все время её существования т.е. Вселенная выполнила максимально возможное число действий, допускаемое законами физики.

Вычислить полную ёмкость памяти обычной материи можно стандартными методами статистической механики. Материя может вмещать наибольшее количество информации, когда она преобразована в частицы без массы с высокой энергией типа нейтрино или фотонов, плотность энтропии которых пропорциональна кубу их температуры. Плотность энергии частиц (определяющая число действий, которое они могут исполнить) зависит от четвертой степени их температуры. Поэтому общее количество битов равно числу операций, возведенному в степень три четверти. Для Вселенной в целом это составляет 10^{92} бит. Если частицы содержат некоторую внутреннюю структуру, число битов могло бы быть несколько выше. Эти биты переключаются быстрее, чем общаются между собой, так что обычная материя - параллельный компьютер, подобный предельному ноутбуку и отличающийся от чёрной дыры. Вселенная - это компьютер, состоящий из двух типов компонентов. Материя (красная) очень динамична и работает как быстродействующий параллельный компьютер. Тёмная энергия (серая), наоборот, статична: она функционирует как последовательный компьютер с меньшим быстродействием.

Что же касается тёмной энергии, то физики не знают, что это такое, не говоря уже о том, как вычислить, сколько информации она может хранить. Но в голографическом принципе подразумевается, что Вселенная может хранить максимум 10^{123} бита - почти то же самое, что и общее число операций. Это равенство - не случайное совпадение. Наша Вселенная близка к её критической плотности. Если бы плотность была немного больше, Вселенная, возможно, испытала бы гравитационный коллапс, точно так же, как материя, падающая в чёрную дыру. Так что выполняются условия для приближения к максимуму числа вычислений. Это максимальное число равно R^2/l_p^2 , которое является тем же самым, что и число битов, даваемое голографическим принципом. В каждой эпохе её истории максимальное число битов, которые Вселенная может содержать, приблизительно равно числу действий, которые она, возможно, выполнила до этого момента.

Если обычная материя подвергается огромному числу операций, тёмная энергия ведёт себя совершенно иначе. Когда она кодирует максимальное число битов, допускаемых голографическим принципом, то у подавляющего их большинства в течение всей космической истории хватает времени только на то, чтобы изменить состояние не больше одного раза. Так что эти необычные биты - простые зрители вычислений, выполняемых с гораздо более высокими скоростями меньшим числом обычных битов. Независимо от того, что представляет собой тёмная энергия, она не выполняет большого количества вычислений и не должна этого делать. Её назначение - обеспечение недостающей массы Вселенной и ускорения её расширения - простые в вычислительном отношении задачи.

Вселенная вычисляет сама себя. Управляемая «программным обеспечением» Стандартной модели элементарных частиц и взаимодействий, Вселенная вычисляет квантовые поля, химические соединения, бактерии, людей, звезды и галактики. И, вычисляя, она отображает свою геометрию пространства-времени с предельной точностью, допускаемой законами физики. Вычисление и есть её существование. Эти результаты распространяются на обычные компьютеры, на чёрные дыры, на пену пространства-времени и на весь Космос, доказывая собой единство природы. Они демонстрируют взаимосвязи общих представлений фундаментальной физики. Хотя физики ещё не обладают полной квантовой теорией гравитации, но какова бы ни была эта теория, она глубоко связана с квантовой информацией. Всё из кубита.

В своё время К. Шеннон ввёл термин информация в узком техническом смысле, применительно к теории связи или передачи кодов (это направление названо «Теория информации»). Почти одновременно с ним Норберт Винер обосновал необходимость подхода к «информации» как к общему явлению, имеющему значение для существования природы, человека и общества. Информация - глобальное явление. В предыдущей лекции мы проиллюстрировали роль информации в микро- макромире.

В данной лекции мы рассмотрим информацию, распространяемую в биологических системах и обществе.

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ИНФОРМАЦИИ

Начнем с определения трёх понятий:

Объект – нечто устойчивое во времени и ограниченное в пространстве интересующее нас как единое целое.

Среда – множество всех других потенциальных «Объектов» интересующих нас только с точки зрения их влияния на состоянии выделенного «Объекта» и обратного влияния «Объекта» на их состояния.

Взаимодействие – растянутый во времени процесс взаимозависимого изменения параметров состояния «Объекта» и «Среды». Эта схема является замкнутой в том смысле, что «Среда» включает в себя все потенциальные «Объекты» способные влиять на состояние выделенного «Объекта».

В природе существует два фундаментальных вида взаимодействия: обмен веществом и энергией. Все прочие взаимодействия происходят только через их посредство. Эти виды взаимодействия подчиняются закону сохранения. Потери, происходящие при передаче, не рассматриваются, ибо потери вещества и энергии в замкнутой среде невозможны и то, что называют потерями, является отдельными актами взаимодействия с другими объектами той же среды. Среда замкнута именно в том смысле, что все взаимодействия происходят только внутри её. Энергетическое и вещественное взаимодействие объектов является симметричным, т.е. сколько один отдал, столько же другой получил. Переходы между веществом и энергией не влияют на общий баланс. Так же не влияет на общий баланс разрушение объекта в результате таких взаимодействий, так как сохраняется сумма констант соотношения вещества и энергии, образовавшихся в результате разрушения частей. Если между объектами происходит взаимодействие более высокого порядка, при котором от одного к другому переходит некоторая субстанция и при этом потери одного не совпадают с приобретением другого, то такое взаимодействие является несимметричным. В предельном случае несимметричного взаимодействия при передаче субстанции между объектами один из них её приобретает, а другой её не теряет. Именно такое явление имеет место при передаче информации: один субъект получает информацию от другого, при этом передающий ничего не теряет.

Любое взаимодействие между объектами, в процессе которого один приобретает некоторую субстанцию, а другой её не теряет, называется информационным взаимодействием. При этом передаваемая субстанция называется информацией.

Из этого определения следует два свойства информации:

- 1) Информация не может существовать вне взаимодействия объектов.
- 2) Информация не теряется ни одним из них в процессе этого взаимодействия.

Здесь основным понятием является информационный процесс. Информация - концентрированное выражение состояния этого процесса на некотором условно завершённом его этапе. Информация появляется во время взаимодействия и исчезает вместе с ним. При этом отрезок времени между передачей и приёмом информации всегда больше нуля и меньше бесконечности.

Мы уже неоднократно упоминали знаменитый тезис Н. Винера: «Информация – это информация, а не материя или энергия». Это означает, что информация представляет собой всеобщее свойство взаимодействия материального мира, определяющее направленность движения энергии и вещества. Эта всеобщая нематериальная свойство взаимодействия материального мира включает в себя первичную и вторичную информацию.

Первичная информация - направленность движения вещества, при которой возникает не только направленность его движения в пространстве, но и форма (структура, морфология) как результат направленности движения составляющих вещество элементов.

Вторичная информация - отражение первичной информации в поле в виде формы (структуры) пространственных сил, сопровождающих всякое движение вещества.

Информация объединяет в себе три вида – направленность движения, форму вещества и форму окружающих вещество полей, которую мы наблюдаем в результате действия пространственных сил, сопровождающих движение вещества.

Начало пониманию сущности информации как всеобщего свойства материи было положено Н. Винером в его монографии «Кибернетика», которая по замыслу автора должна была стать наукой об

управлении, объединяющей все виды управления в живой и неживой природе. Недаром Н. Винер использовал для названия новой науки термин, предложенный ещё Ампером в его классификации наук. Ампер предлагал назвать кибернетикой науку об управлении государством. Объединяющим началом для всех видов управления Н. Винер считал именно информацию. Понимал Н. Винер и существование двух видов информации, но он не смог объяснить их взаимосвязь, сущность механизма информационного взаимодействия как механизма управления.

Огромное значение для понимания сущности информации имели работы английского биолога У. Эшби, однако, и они не смогли сдержать превращения кибернетики как науки об управлении в науку об обработке информации с помощью вычислительной техники. Мешала математика: предложенная К. Шенноном формула для «измерения информации» заслонила от ученых физику информации, о которой говорили Винер и Эшби. Более того, вмешательство в выяснение сущности информации таких известных физиков, как Э. Шредингер и Л. Бриллюэн, только усугубило проблему: информацию стали противопоставлять энтропии энергии, т.к. математическое выражение для измерения количества информации Шеннона по форме совпадало с соотношением Больцмана для энтропии (отличие было в знаках). Заявление Н. Винера о том, что «настоящую информацию» измерить нельзя, осталось без внимания, т.к. он не пояснил, что же такое настоящая информация. После работ У. Эшби, Р.Хартли и К. Шеннона, установившими связь между информацией и энтропией, под информацией стали понимать не любые сообщения, передаваемые в системе связи, а лишь те, которые уменьшают неопределенность у получателя информации. Чем больше уменьшается эта неопределенность, т.е. чем больше снижается энтропия сообщения, тем выше информативность поступившего сообщения. Энтропия - минимум информации, который необходимо получить, чтобы ликвидировать неопределенность алфавита, используемого источником информации. Однако и количественная мера информации Р. Хартли и энтропия К. Шеннона не измеряют саму вторичную информацию в её смысловом или физическом виде, а лишь характеризуют используемую для передачи по каналам связи систему кодирования этой информации, алфавит, примененный для её передачи.

Физическая сущность вторичной информации – это форма физических полей, которая и несёт смысловое содержание этой информации, реализуя его через информационное взаимодействие материи. В этом взаимодействии и проявляется связь вторичной и первичной информации. Смысловое содержание вторичной информации в человеческом обществе – это знание об окружающем нас мире, определяющее поведение человека, т.к. опираясь на эти знания, человек взаимодействует с остальной Природой. Сама эта Природа в виде формы (структуры) окружающих нас вещественных тел и их движения представляет собой первичную информацию.

Вторичная информация постоянно присутствует в окружающем нас мире в составе электромагнитных колебаний светового диапазона волн в виде различных видов модуляции (кодирования) этих электромагнитных колебаний. Эта информация существует объективно, независимо от воли и сознания людей. Вторичная информация не является изобретением человека, человек только научился её дополнительно кодировать и декодировать в своих практических интересах. При этом электромагнитное поле не единственный носитель вторичной информации - вторичную информацию несут и другие физические поля, например гравитационное поле. Когда Винер утверждал, что настоящую информацию измерить нельзя, он имел ввиду первичную информацию, т.к. принципиально невозможно измерить форму или структуру вещества. Всякое измерение есть сравнение с эталоном, а создать эталон формы или структуры вещественных тел нельзя. То же самое можно сказать и о «настоящей вторичной информации» как форме (структуре, модуляции) поля.

Человек воспринимает мир через образы, но анализирует увиденное, мыслит словами. Это означает, что в нашей памяти одновременно хранится образная вторичная информация об окружающем нас мире в своем естественном голографическом виде и перекодированная вторичная информация в символике нашего языка. Каждый человек постоянно занимается кодированием-декодированием, наблюдая окружающий мир. При этом символическую информацию, хранящуюся в нашей памяти, мы можем анализировать количественно по Хартли или Шеннону, используя одинаковый алфавит и двоичную систему счисления, но образная информация – основа нашего мироощущения сравнительному анализу не подлежит.

Настоящая информация не измеряется.

Перейдём теперь к третьему виду информации - направленности движения.

Материя находится в вечном и бесконечном движении, а всякое движение характеризуется скоростью и направленностью. Направленность движения - информация особого вида, которую в теории информации называют простой, или примитивной. Простая информация порождает все другие виды

информации, т.к. любая форма вещества является результатом прошлого направленного движения составляющих эту форму элементов. Но в отличие от первичной и вторичной информации простая информация существует только в движении и исчезает после прекращения движения или изменения направленности этого движения. После исчезновения мы никогда и нечего о ней не можем узнать. Примитивная информация – это тот таинственный созидатель, который, создавая все сущее в мироздании, ни в чём себя не проявляет после своего титанического труда. Рожденная из небытия, простая информация опять исчезает в небытие, оставляя нам «таинственно возникшие» формы и структуры вещественных тел.

Итак, простая информация создаёт мир, первичная – вещественные тела мироздания, вторичная несёт нам знания об окружающем мире. Главное отличие действия информационного дуализма в природе от его действия в человеческом обществе состоит в том, что природа не умеет перекодировать вторичную информацию опосредованно, перенося её на другой носитель и изменяя код. Информационное взаимодействие в природе происходит путем непосредственного взаимодействия полей и вещественных тел. Но и в природе в результате этого взаимодействия первичной и вторичной информации возникает определенное направленное движение – основа возникновения любой другой формы, другой информации.

Информация - это организованное по определенным правилам пространственное размещение материи.

Организация порядка в пространственном размещении первичной информации в соответствии с информационным содержанием вторичной информации - это и есть смысловое содержание информационного взаимодействия, информационного дуализма. Смысловым критерием в развитии природы является создание все новых и новых устойчивых, упорядоченных материальных форм, а инструментом этого созидательного процесса является информационный дуализм. Тем самым перебрасывается мост из неживой в живую материю. Живая природа становится логическим развитием неживой природы через развитие вторичной информации.

2. ЭВОЛЮЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрим теперь возможное развитие информационного взаимодействия объекта со средой в зависимости от уровня развития самого объекта.

2.1 Неживые формы

Явление информации существует, как живой, так и в неживой природе. Объекты и процессы неживой природы являются носителями информации (дискета, рисунок мелом на доске, ток) и средой для распространения информации (провод по которому идёт ток).

Все объекты в природе состоят из элементарных частиц, объединенных в более или менее сложные структуры. Поэтому все взаимодействия между объектами сводятся к взаимодействию элементарных частиц и происходят по законам физики микромира. Эти взаимодействия симметричны и приводят к образованию разнообразных структур. Эти структуры с определенного уровня устойчивости могут рассматриваться как самостоятельные объекты. Взаимодействия этих объектов между собой складывается из большого числа взаимодействий составляющих их частиц. Свойства этих суммарных взаимодействий определяется совокупностью свойств составляющих их частиц и той структуры, в которую они объединены.

Та часть взаимодействий частиц, которая служит для поддержания устойчивости объекта как структуры, определяет его как «вещь в себе». Другая часть, которая проявляется во взаимодействиях объекта в целом с другими объектами, определяет его как «вещь для других». Законы взаимодействия объектов вытекают из законов взаимодействий их частиц, но чем больше частиц, чем разнообразнее они и чем сложнее их взаимодействие в структуре объекта, тем сложнее выводятся законы общего взаимодействия из частных. При этом всё большую роль играют статистические законы больших чисел, обеспечивающие возрастание устойчивости законов взаимодействия объектов в целом и с определенного уровня устойчивости эти законы уже можно рассматривать как самостоятельные не учитывающие законы каждого отдельного частичного взаимодействия. Так из законов взаимодействия элементарных частиц возникают законы взаимодействия атомов, молекул и т.д. до известных нам законов макромира и социальных законов. Законы взаимодействия объектов более высокого уровня строятся на основе интеграции законов взаимодействия составляющих их объектов более низкого уровня. Кстати, одной из причин неустойчивости законов социального взаимодействия является недостаточно большое количество элементов составляющих взаимодействующие социумы. Социальные законы в значительной мере зависят от конкретных наборов свойств отдельных членов социумов, которые сами являются уже достаточно сложными объектами.

Повышение уровня сложности объектов всегда связано с тенденцией уменьшения степени их подобия друг другу. Законы больших чисел действуют для них со всё более возрастающей погрешностью.

Простейшие виды информационного взаимодействия можно выделить уже в неживой природе. Таковым, например, является каталитическое взаимодействие. Оно состоит в том, что один объект (катализатор) изменяет скорость протекания химической реакции между группой других объектов называемых реагентами, после чего сам катализатор остается неизменным по всем своим свойствам. Этот процесс можно представить как примитивное информационное взаимодействие между катализатором и реагентами состоящее в том, что последние получают от первого некую информацию, которую они реализуют в виде изменения их собственного взаимодействия. Этот примитивный вид информационного взаимодействия представляет собой не сложный комплекс симметричных взаимодействий и легко может быть выведен из них. Например, это взаимодействие может состоять из простой последовательности симметричных взаимодействий между катализатором и отдельными реагентами, в ходе которых он перераспределяет между ними вещество и энергию и тем самым организует взаимодействие между ними, оставаясь в итоге в своем прежнем состоянии. С другой стороны в этом взаимодействии уже проявляются в примитивном виде присущие информационному взаимодействию основные факторы.

Информационное взаимодействие имеет в своей основе комплекс симметричных взаимодействий и таким образом информация между объектами переносится с помощью обмена веществом или энергией.

Формы вещества или энергии, с помощью которых переносится информация называются информационными кодами или кратко - кодами.

Информационное взаимодействие может происходить только при определенном взаимном соответствии свойств объектов. Так в каждом каталитическом взаимодействии могут участвовать только объекты, обладающие необходимым для него набором свойств. Восприятие информации на основе получаемых кодов определяется через возможность её реализации в соответствии со свойствами принимающего объекта. От его свойств зависит в конечном итоге то, какую информацию он принимает, получая конкретный набор кодов.

Комплекс свойств объекта позволяющих ему воспринимать получаемые коды как некоторую информацию называется аппаратом интерпретации информационных кодов или кратко - аппаратом интерпретации.

Информация реализуется в принимающем объекте через связанное с ней определенное изменение его состояния (внутренних или внешних свойств). Причём это изменение возможно и без получения информации, но при этом оно будет менее вероятным. Информация способствует переходу принимающего её объекта в одно из потенциально присущих ему состояний, т.е. является сообразной его свойствам. Сообразность информации принимающему объекту в значительной мере определяется наличием у него аппарата интерпретации, поскольку и то и другое основывается на одних и тех же свойствах объекта.

Информация, принимаемая объектом, необходимо является для него целесообразной.

Для протекания взаимодействия необходимы три фактора. Это наличие кодов, переносящих информацию, наличие аппарата интерпретации этих кодов у принимающего объекта и обязательная целесообразность информации для принимающего объекта. Можно сказать, что информационное взаимодействие, это один из видов взаимодействий, связанных с переходом от объективного к субъективному. Это взаимодействие с независимо существующими от объекта явлениями, в которых он участвует как «вещь для других», но результат которых воспринимается им как «вещь в себе».

2.2 Простейшие формы жизни

Живой объект содержит набор генетических элементов, имеющих свойство при определенных условиях контролировать процесс синтеза из потребляемой материи объекта, содержащего подобный набор генетических элементов. Первым условием, отличающим живую форму от неживой, является наличие у неё возможности воспроизведения других форм, которые будут подобны ей самой по внутреннему строению и по видам взаимодействия с внешней средой. Для реализации этой возможности живая форма получает из внешней среды вещество и энергию и преобразовывает их внутри себя, создавая копии своих элементов и организуя их в структуру, где они будут взаимодействовать между собой так же, как они взаимодействовали в исходной форме. Эти действия означают постоянное изменение внутреннего состояния живой формы, при сохранении свойств её взаимодействия с внешней средой. Наличие постоянных внутренних изменений является основной причиной того, что живая форма в каждый следующий момент отличается от себя в предыдущем моменте и, в конце концов, её свойства настолько изменяются, что она перестает существовать как таковая и происходит её разрушение. Живые формы не столь долговечны, как неживые, в которых внутренние изменения обусловлены напрямую симметричными взаимодействиями с внешней средой.

Возьмем за объект простейшую живую форму - вирус. Его взаимодействие со средой обитания сводится к питанию (потреблению вещества), потреблению энергии, выделению отходов (в виде вещества и энергии), размножению (построению своей копии) и умиранию (распад на отдельные химические молекулы). Вирус состоит из молекулы нуклеиновой кислоты и белковой оболочки, предотвращающих распад друг друга. В этом состоит основное назначение их внутреннего взаимодействия. Нуклеиновая кислота играет главную роль в воспроизведении другого такого же вируса при наличии соответствующих условий внешней среды.

Механизм воспроизведения вирусов сводится к тому, что он, попадая в определенную среду, изменяет комплекс происходящих между её объектами химических взаимодействий таким образом, что в их результате происходит синтез зрелых вирусных частиц - вирионов, из которых в определенных условиях образуются другие такие же вирусы. Этот вид взаимодействия вируса со средой подобен каталитическому взаимодействию, но имеет более высокий уровень сложности. Реагентами этого взаимодействия являются уже не простые химические молекулы, а более сложные высокомолекулярные соединения. Кодами, переносящими информацию, служат уже не простые физические объекты и элементарные энергетические влияния, а значительно более сложные по составу и структуре их комплексы. Действие аппарата интерпретации кодов основано здесь на столь сложных комплексах действий химических законов, что уже не представляется возможным вывести строгую зависимость одного от другого. В этом взаимодействии начинают проявляться биологические законы как более высокие по уровню сложности, нежели химические.

Принцип целесообразности информации по-прежнему имеет место в том смысле, что вся совокупность реакций ведущих к появлению нового вируса могла бы произойти и без участия такого же вируса, но стечение нужного комплекса обстоятельств для этого события гораздо менее вероятно, чем для реагентов каталитического взаимодействия, т. е., может проявиться гораздо реже. Но иногда это случается. Среда высокомолекулярных соединений сама производит время от времени новые вирусы. Информационное взаимодействие вируса со средой имеет особенность, отличающую его от каталитического взаимодействия. Результат реакции не имеет никакого отношения к катализатору, а результат информационного воздействия вируса на среду значим для вируса, поскольку обеспечивает поддержание его существования как вида. Тут проявляется четвёртый фактор информационного обмена, который можно назвать направленностью передачи информации, или более широко - целенаправленностью.

Целенаправленность информационного взаимодействия - фактор его значимости для существования конкретного объекта передающего информацию или для существования его вида.

Фактор целенаправленности передачи информации как побуждение перехода принимающего объекта в состояние, отвечающее интересам передающего объекта - фактор процесса управления. Процесс управления - информационный процесс, но рассмотренный с точки зрения доминирования целей объекта передающего информацию над целями объекта, который её принимает.

2.3 Клеточная форма жизни

Принципиальным отличием клеточной формы жизни от вирусной является объединение в ней, как в единой структуре, всех компонент, взаимодействие которых обеспечивает воспроизведение другой такой же формы. Конечно, для обеспечения такого внутреннего взаимодействия компонент клетки необходима возможность взаимодействия её как целого с внешней средой. Непосредственно для существования и самовоспроизведения клетки ей необходимы только симметричные взаимодействия, в ходе которых она получает из внешней среды вещество и энергию, поддерживающие взаимодействие её компонент.

Внутренний механизм самовоспроизведения клетки является развитием механизма воспроизведения вируса. В клетке имеется основной элемент, целенаправленное информационное воздействие которого на прочие элементы приводит к построению другого такого же элемента. Но этим ещё не исчерпываются его функции. Этот элемент вступает с остальными элементами клетки в такие информационные взаимодействия, которые направляют взаимодействие между ними на создание всего комплекса элементов клетки. Действуя подобно вирусу в направлении самовоспроизведения, этот основной элемент клетки организует ещё и воспроизведение среды, в которой его собственное воспроизведение становится возможным. Этот основной элемент клетки представляет собой разновидность молекулы нуклеиновой кислоты, а именно, молекулу дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Напомним, что ДНК состоит из элементов называемых нуклеотидами, отдельные группы которых, участвуя в разных информационных взаимодействиях, организуют отдельные этапы процесса воспроизведения клетки и в совокупности организуют весь процесс.

Само первичное возникновение клетки как живой формы, произошло, потому что оно могло произойти в определенных, хотя и очень маловероятных, ситуациях взаимодействия вируса со средой. В какой-то момент функционирование некоего вируса привело к тому, что в одной оболочке оказалась молекула его ДНК и те объекты, с которыми он вступал в информационные взаимодействия, причём каждый из них мог возникать как реализация информационного взаимодействия вируса с другими объектами. Стечение всех этих обстоятельств случается настолько редко, что за всю истории развития жизни на нашей планете произошло, видимо всего несколько таких случаев образования клеток, которые обладали бы достаточной устойчивостью существования и воспроизведения себя как вида. При этом устойчивость не оказалась настолько полной, чтобы воспроизведение клеток вело бы в каждом случае к появлению полной копии родительской клетки. Отсюда стали появляться новые клетки, наиболее устойчивые из которых сохранялись как виды. Это и послужило основой возникновения того многообразия форм жизни, которые сейчас существуют. Живая клетка интересна тем, что является почти замкнутой средой с точки зрения происходящих в ней внутренних информационных взаимодействий. Число их достаточно ограничено, что даёт возможность изучать каждое из них отдельно и всю взаимосвязанную их структуру в целом.

Информационное взаимодействие ДНК с каким либо элементом клетки происходит не через непосредственные симметричные взаимодействия одного с другим, а опосредованно через промежуточные взаимодействия с некоторыми другими элементами. Таковыми в клетке служат несколько видов молекул рибонуклеиновой кислоты (РНК). При взаимодействии с ДНК они приобретают такие свойства, которые при последующем взаимодействии их с другими элементами клетки приводят к передаче им информации уже непосредственно реализуемой в процессах поддержания жизни или воспроизведения клетки. Коды, с помощью которых осуществляется передача информации от ДНК, не совпадают с кодами, с помощью которых принимается информация. Промежуточный этап информационного взаимодействия может быть растянут во времени, и момент передачи информации не совпадает с моментом её получения. Наличие этого промежутка и перекодировки информации создают предпосылки искажения (и потери) информации в процессе её перехода от одного объекта к другому. Искажение информации ведёт к снижению целесообразности для объекта изменений, происходящих в нём при её реализации. Для клетки это чревато нарушением общей устойчивости её жизнедеятельности и разрушением.

Для того чтобы клетка сохранялась как вид в течение длительного времени, должен существовать механизм защиты информации от искажений, которые происходят время от времени. Такой механизм может иметь различную природу, но он должен быть заложен и в свойствах самой передаваемой информации. Таким свойством является избыточность информации, которая может быть реализована через простое повторение кодов или более сложным образом – через самовосстанавливающиеся коды. Самовосстановление кодов основывается на том, что в передаче участвуют не только коды непосредственно несущие информацию, но и дополнительные, по которым при приёме информации, проверяется верность основных кодов, и если это необходимо и возможно, информация реализуется таким же образом, как будто коды не были искажены. Собственно восстанавливаются не сами коды, а в допустимых пределах их искажений и потерь сохраняется переносимая ими информация. Деление на основные и дополнительные коды условно. Одна и та же информация может передаваться различными участками одной ДНК, и исключение каких либо из них не приводит к нарушениям её функций. Возможность использования свойства избыточности информации требует наличия соответствующих свойств у объекта принимающего информацию. Молекулы ДНК имеют большее количество групп нуклеотидов, чем это необходимо для нормального функционирования клетки. Причём доля избыточных групп возрастает по отношению к доле основных по мере усложнения функций самостоятельной клетки или организма, в который клетка входит составной частью. При переносе информации от ДНК участвуют большее число кодов, чем это непосредственно необходимо. Представляется, что именно этим изначально обеспечивается защита информации от искажений и потерь в процессе обмена ею внутри клетки.

Во внутриклеточном обмене информации проявляется ещё один фактор, который необходимо учитывать при рассмотрении этого процесса. Он присутствует в процессе взаимодействия вируса с элементами клетки. Клетка, в которую попадает вирус, является для него внешней средой. Вступая в информационный обмен с элементами клетки, вирус целенаправленно изменяет их взаимодействия и, тем самым, заставляет их создавать другой такой же вирус. Для клетки такое взаимодействие приводит к нарушению её внутренних информационных взаимодействий. Если возникающие при этом искажения информации становятся слишком значительными, клетка теряет возможность поддерживать своё существование и разрушается. С одними искажениями информации клетка может бороться, с другими нет, а

третьи могут оказаться нейтральными или даже способствующими её существованию. Судя по структуре вирусов, основой которых может являться молекула либо ДНК либо РНК, у них имеется несколько возможностей вмешиваться во внутриклеточный информационный обмен - либо исказить информацию в процессе её переноса, изменив состояние клеточной РНК, либо передавать информацию, вступив в непосредственное взаимодействие с определенными элементами клетки вместо соответствующей РНК. Возможен вариант, когда молекула ДНК вируса внедряется в структуру молекулы ДНК клетки, и та начинает посылать изначально искаженную информацию.

Фактор целенаправленной передачи информации от одного объекта другому в ситуации, когда её реализация оказывается целесообразной для первого и нецелесообразной для второго называется дезинформацией.

Понятия Информация и Дезинформация, обозначают одну и ту же субстанцию, но имеют разные этические категории. Они соотносятся между собой как понятия разведчик и шпион. Рассмотренные с точки зрения соответствия различным целям они переходят из одного в другое.

На примере живой клетки можно разобрать ещё один вид информационного взаимодействия. ДНК клетки не только посылает информацию другим элементам клетки, но и получает её от них. Если передаваемую информацию можно назвать управляющей, то последнюю можно определить как информацию слежения. Эта информация переносится с помощью РНК (тех же или других, что участвуют в переносе управляющей информации). Принимаемая ДНК информация реализуется в ней через изменение её состояния, и обуславливает формирование управляющей информации. В результате реализуется изменение управления процессами, происходящими в клетке в соответствии с изменением условий её существования. В частности, реализацией следящей информации может быть комплекс управляющих информационных взаимодействий ДНК с другими элементами клетки, реализуемый ими в процессе самовоспроизведения именно в тот момент, когда клетка в целом уже готова к этому.

Информация слежения играет ещё одну важную роль для обеспечения устойчивости существования клетки. Взаимодействие клетки как объекта со средой, влечёт за собой изменение состояний отдельных её элементов, и соответствующая информация поступает в ДНК. Реализация такой информации в изменении управляющих информационных воздействий заставляет клетку в целом перейти в состояние наиболее адекватное для её сохранения в данных условиях взаимодействия со средой. Каждая существующая клетка обладает такими способностями в определенных пределах просто потому, что те, которые не обладали ими, прекратили свое существование как вид. Здесь действует известный тезис Гегеля – «Все существующее разумно». Адекватная реакция клетки на состояние внешней среды представляет собой реализацию получаемой из внешней среды информации. Механизм этой реализации основан на изменении взаимодействий элементов внутри клетки, в том числе и информационных. Информационное взаимодействие клетки со средой, эта та часть её взаимодействий, значение которых для её существования определяется не вещественным и энергетическим обменом поддерживающим необходимые для её существования взаимодействия внутренних элементов, а та, которая влечёт за собой изменение этих внутренних взаимодействий в направлении наиболее выгодном для существования клетки в целом как единицы или как вида.

Каждый элемент клетки в отдельности крайне неустойчив. Его существование заключается в регулярном обновлении большей части входящих в него субэлементов и энергетической подпитке их взаимодействий. Относительная устойчивость достигается в комплексе взаимодействий всех элементов клетки по обмену веществом и энергией, изначально источником которых является взаимодействие с внешней средой клетки. Согласованность внутренних взаимодействий по обмену веществом и энергией достигается комплексом следящих и управляющих информационных взаимодействий, центральным элементом которых является молекула ДНК. Среди управляемых этими информационными взаимодействиями процессов присутствует комплекс каталитических процессов реализуемых определенной группой элементов клетки – ферментами, каталитический процесс, - процесс примитивнейшего информационного взаимодействия. Таким образом, информационное взаимодействие может иметь иерархическую структуру, согласованно объединяющую разные уровни взаимодействий.

Даже в самых идеальных условиях внешнего взаимодействия клетки со средой, неустойчивость отдельных элементов клетки приводит к нестабильности их внутренних взаимодействий, в том числе и информационных. Нарушение последних особенно важно, так как влияет на согласованность всех остальных процессов через потерю их значимости друг для друга. Это в свою очередь влияет на внутренние информационные взаимодействия и с определенного момента процесс их нарушения становится необратимым, клетка стареет, теряя способность обеспечивать существование своих элементов, и умирает.

Одноклеточные организмы как объекты информационного взаимодействия со средой отличаются от вируса, тем, что последние являются передающей стороной, а одноклеточные принимающей. Поэтому у одноклеточных более развит аппарат интерпретации информационных кодов, через который они принимают информацию и реализуют в своих действиях. Аппарат интерпретации информационных кодов у клеток имеет безусловный и непосредственный характер. Безусловность его заключается в том, что одинаковые комбинации кодов всегда воспринимаются конкретной клеткой как одна и та же информация реализуемая в одних и тех же действиях. Непосредственность действия этого аппарата заключается в почти немедленной реализации информации. Клетка не может долго, хранить принимаемую информацию и реализовывать её некоторое время спустя. Этапы интерпретации информационных кодов и реализации полученной информации в клетке практически не разделяются.

Можно привести простейший пример приёма и интерпретации информации из внешней среды такими одноклеточными организмами как бактерии в процессе поиска ими питания. Само событие получения питания у бактерий одновременно является событием получения информации о наличии питания. Реализация этой информации происходит через изменение длины их единичных перемещений (направление всегда случайное). Чем чаще встречается пища, тем короче пробеги. Таким образом, увеличивается вероятность, того что, попав в питательную среду, бактерии проводят в ней большее время, чем то время, которая они проводят в бедной питанием среде. Это самый примитивный способ реализации информации живой формой при её взаимодействии с внешней средой через управление своими действиями (управление как выбор действий из имеющихся альтернативных возможностей). Аппарат интерпретации информации получаемой клеткой из внешней среды полностью и однозначно определяется структурой молекулы ДНК (поскольку именно она управляет его построением) и передается от родительской клетки к дочерней через копию этой ДНК. Он не меняется в течение всей жизни клетки и одинаков у всех клеток одного вида.

Коротко остановимся на проблеме информационного самоуправления живой клеткой. Живая клетка – информационная управляющая система, представляющая собой центр по синхронной переработке трёх составляющих – органического вещества, химической энергии и молекулярной информации. Она является той элементарной биологической единицей, которая обладает всеми свойствами живого. Именно из неё каждый из нас появляется на свет как информационный биологический аналог своих близких и далёких предков.

Исследование биологической формы движения материи традиционно сводится к изучению физико-химических процессов обмена веществ и энергии в живых системах, т. е. к поиску путей и изучению прохождения многочисленных биохимических реакций, объединённых общим понятием – метаболизм. Одна из основных формулировок биологии, определяющая сущность жизни, гласит, что «жизнь - это обмен веществ и энергии в организме». Когда говорят о клетке как об элементарной структурно-функциональной единице всего живого, то под этим понятием, понимают биохимическую часть её сущности. Именно с этой точки зрения, её изучают и исследуют различные биологические науки: биофизика, биохимия, молекулярная биология, генетика, геномика, цитология и многие другие дисциплины. В изучении живой формы материи доминирует культ физико-химического направления. Между тем, все целенаправленные и упорядоченные химические превращения в клетке формируются не сами по себе, а являются результатом деятельности весьма сложной управляющей системы.

Ясно, что живая клетка должна обладать своими устройствами, предназначенными для «автоматизированной» переработки органического вещества, химической энергии и молекулярной информации. В противном случае эти процессы просто не могли бы иметь места. Поэтому многочисленные последовательности химических реакций основных путей клеточного метаболизма, по своей сути, могут относиться только к процессам управляемым.

Подробнее о них мы поговорим в разделе «генетическая информация».

2.4 Многоклеточные формы жизни

Предпосылкой к появлению многоклеточных форм жизни стали колониальные одноклеточные организмы. Их дочерние клетки после воспроизведения не отделяются от материнской и существуют в непосредственном соприкосновении. Являясь, как и все одноклеточные принимающей стороной в информационных взаимодействиях они способны вступать только в самые примитивные виды взаимного обмена информацией, связанные, например, с информацией о физическом их контакте. Внешняя информация из среды принимается и реализуется каждым членом колонии самостоятельно. Их совместная

деятельность ограничивается самим фактором создания единого тела, которое по своим физическим параметрам имеет более высокую живучесть, чем составляющие его элементы.

Амёбы, хотя и не являются колониальными организмами, способны на создание временных колоний. В голодном состоянии они выпускают вещество (одна из составляющих ДНК), которое воспринимается другими как информация заставляющая их сближаться и группироваться. Образуется единая слизь (некое подобие колониального организма). Эта слизь может перемещаться в пространстве под воздействием внешней среды на значительно большие расстояния, чем отдельные амёбы. При этом сами амёбы не тратят свою энергию на передвижение и потому дольше живут в условиях её дефицита. Достигая питательной среды, слизь распадается на отдельные амёбы, и они опять действуют как самостоятельные объекты.

Многоклеточные организмы отличаются от колониальных разделением функций отдельных групп клеток при взаимодействии со средой. Их общей особенностью является то, что, как и колония одноклеточных, многоклеточный организм вырастает из одной материнской клетки. Разделение функций клеток в совместной их деятельности как целого требует согласования их действий между собой. Это согласование достигается комплексом происходящих между ними управляющих и следящих информационных взаимодействий. В многоклеточном организме появляются клетки способные вступать в информационные взаимодействия с другими клетками в качестве передающей стороны. Во всем остальном клетка в многоклеточном организме взаимодействует с другими клетками принципиально так же, как одноклеточный организм взаимодействует с элементами его внешней среды. Принципиальное отличие проявляется только в процессе самовоспроизведения клетки. Дочерняя клетка не всегда становится полной копией материнской клетки. На процесс самовоспроизведения клетки оказывает влияние её информационное взаимодействие с окружающими клетками и внешней средой организма. ДНК в дочерней клетке полностью копируется с ДНК материнской клетки, а комплекс остальных элементов может значительно отличаться. Таким образом, центральный элемент информационного управления взаимодействиями элементов клетки в каждой клетке один и тот же, но выполняет только ту часть своих функций, которая соответствует взаимодействию с имеющимися в клетке другими элементами.

Разные по строению клетки организма выполняют разные функции. В комплексе они обеспечивают взаимодействие организма с его внешней средой, которое в итоге должно поддерживать существование каждой отдельной клетки. Чтобы так оно и было необходима согласованность действия различных клеток через их информационные взаимодействия (следящие и управляющие). У простейших многоклеточных такие информационные взаимодействия осуществляются теми же клетками, которые поддерживают обмен веществом и энергией с внешней средой. Но уже на довольно ранней стадии развития многоклеточных форм сопровождаемого усложнением необходимого для их существования комплекса взаимодействий со средой (у кишечно-полостных) возникают клетки специализирующиеся на организации информационного обмена между остальными клетками. Эти клетки называют нейронами. Строение нейронов у всех многоклеточных имеет общие особенности - они обладают несколькими короткими отростками (дендритами) и одним длинным (аксоном или нервным волокном или в просторечии нервом). Дендриты служат для информационного взаимодействия с соседними клетками, а аксоны с клетками расположенными на значительном расстоянии (их длина может быть свыше метра). Почти изначально возникает и функциональное разделение нейронов по участию в следящих и управляющих внутренних информационных взаимодействиях (в биологии соответствующие функции называют чувствительными и двигательными). В простейшем случае информационное взаимодействие организма со средой, основанное на участии в нем нейронов, строится через нервные (рефлекторные) дуги. Нервная дуга начинается с клеток-рецепторов, вступающих с внешней средой в симметричные взаимодействия, изменяющие их внутреннее состояние. Изменение их состояния приводит к изменению их взаимодействия с чувствительным нейроном. Это взаимодействие уже является информационным. Нейрон получает информационные коды от рецептора безусловно и непосредственно интерпретируемые им в изменении его состояния и реализует через передачу другому нейрону своих информационных кодов, а тот в свою очередь передает его информационные коды двигательным клеткам, которые уже непосредственно меняют свое состояние, тем самым, организуя ответное взаимодействие со средой целесообразное для организма в целом в сложившихся условиях.

Последовательность происходящих в нервной дуге информационных взаимодействий между различными клетками образует акт информационного взаимодействия более высокого уровня, в котором объектом, принимающим информацию, является уже сам организм. Такой акт носит такой же характер, как и акт информационного взаимодействия одноклеточного организма со средой. Используемый в нём аппарат интерпретации информационных кодов (основанный на строгой последовательности действий нейронов) является безусловным и непосредственным, как и в случае одноклеточного организма. Различие

присутствует пока лишь в плане увеличения сложности и разнообразия принимаемых информационных кодов и соответственно в более сложных и разнообразных действиях реализующих принимаемую информацию.

Усложнение многоклеточных организмов в ходе их эволюции сопровождается усложнением процессов их информационного взаимодействия со средой в соответствии с необходимостью поддержания широкого спектра их симметричных взаимодействий с этой средой, обеспечивающих уже не столько существование каждой клетки, а существование организма в целом. Усложнение информационного обмена со средой обеспечивается в организме через усложнение аппарата интерпретации принимаемых информационных кодов. Его действие продолжает основываться на действиях нейронов, но уже взаимодействующих между собой в более сложных структурах: нервных узлах, нервных центрах и, наконец, в спинном и головном мозге. Сложный акт информационного взаимодействия организма со средой происходит на основе иерархического построения простых актов. Следящая информация поступает из разных точек в узлы, из них в центры, затем в мозг. Из мозга управляющая информация по другим иерархическим путям через соответствующие центры и узлы распределяется к органам, реализующим ее в соответствующих действиях.

Иерархическое построение отдельных простых этапов информационных взаимодействий обеспечивает качественное преобразование следящей информации от того вида, в котором она принималась из внешней среды к тому, на основе которого иницируется её реализация. Т.е. к тому, которое приводит непосредственно к генерации управляющей информации в центрах непосредственно организующих ответную реакцию организма целесообразную в текущих условиях внешней среды. Качественное преобразование информации при её продвижении с нижних иерархических уровней обработки к верхним заключается в её обобщении.

Обобщение информации, - это преобразование информации о наличии множества простых частных событий в информацию о наличии некоего события более высокого уровня, в которое эти частные события входят как отдельные его элементы.

Необходимость обобщения связана с тем, что на любом отдельном этапе информационного обмена имеется принципиальное ограничение количества и разнообразия информационных кодов, с которыми может работать аппарат интерпретации того объекта, который принимает на этом этапе информацию. Обобщение информации заключается в замене информации о конкретных частных событиях на информацию о событии, которое заключается в их совместном проявлении. Эта информация переносится меньшим числом кодов, чем суммарное количество кодов необходимое для переноса информации обо всех частных событиях. При этом неизбежны потери детализации отражения ситуации, но обеспечивается возможность её согласованной реализации через передачу командной информации адекватной данной ситуации в целом. Реализация обобщенной информации заключается в генерации объектом таких действий, которые должны быть целесообразными в условиях всего комплекса имеющих место частных событий, а не каждого из них в отдельности.

Командная информация для обеспечения конечной её реализации проходит обратный путь через соответствующие центры и узлы, в которых она детализируется через разветвления, ведущие к конкретным органам выполняющим элементарные действия, образующие в целом адекватное поведение организма по отношению к внешней ситуации. Множество разных конкретных ситуаций отражается в одной и той же обобщенной информации и соответственно реализуется в одних и тех же действиях организма. Если эти действия приводят к одинаковому и полезному для организма результату, то обобщение информации является правомерным.

Обобщение информации принимаемой многоклеточным организмом реализуется через её поступление из разных точек в нервный узел, которые меняют параметры своего состояния соответствующие каждой конкретной порции информации, и при определенной комбинации значений этих параметров инициализируют посылку информации в вышестоящий нервный центр, сообщая ему о событии наличия этой комбинации.

Простейший механизм обобщения может иметь безусловный характер. Одинаковые комбинации информационных кодов, поступающие из разных точек в нервный узел, центр или мозг интерпретируются в нём детерминированным образом в соответствии с его возможностями, которые остаются постоянными на протяжении всего его существования. На их основе возникает одна и та же обобщенная информация. По мере эволюции многоклеточных организмов у них появился и стал развиваться аппарат условной интерпретации информации. Этот аппарат смог реализоваться только на уровне достаточно развитого головного мозга, в котором взаимодействуют миллионы и миллиарды нейронов. Действие этого аппарата

интерпретации заключается в том, что нейроны после получения и реализации информации не возвращаются сразу в состояние полностью эквивалентное тому, что было до их участия в информационном взаимодействии, а некоторое время сохраняют в себе его следы. Кроме того, должны существовать другие нейроны, принимающие в обобщенном виде информацию о состоянии первых и сохранять состояние своих элементов обусловленное этой информацией. Такие нейроны не принимают непосредственного участия в цепочках основных информационных взаимодействий, но способны вмешиваться в них, имитируя состояния одних нейронов при наличии комбинаций состояний других достаточно часто встречающихся совместно с ними. В результате получается, что комплекс информационных взаимодействий протекает, как будто в нем участвует информация, которая на самом деле не поступила в данный момент. В результате организм реализует действие соответствующее той ситуации, которая должна иметь место, но напрямую ещё не проявилась для организма в его информационном взаимодействии со средой. Такие действия Павлов назвал условными рефlekсами. Последовательное развитие способности интерпретации информационных кодов протекающее в течение жизни организма означает настройку его врожденного аппарата интерпретации на конкретные условия существования.

Для возможности условной интерпретации информационных кодов одновременно необходимо должны иметь место несколько важных факторов. Первый из них - память.

Память объекта, - это изменения, возникающие в его аппарате интерпретации информационных кодов в результате отдельных актов информационных взаимодействий объекта, и сохраняющиеся некоторое время после завершения этих актов.

Память сама по себе бесполезна для объекта, если не может быть использована им в процессе изменения его информационного взаимодействия со средой в направлении, обеспечивающем повышение целесообразности организуемых им взаимодействий с этой средой. Аппарат интерпретации, обладающий памятью, может реализовывать её через имитацию информации о событии, которую он ещё не получил, но возможно должен получить, исходя из порции информации поступившей в данный момент и её взаимосвязи с поступлением других порций информации в прошлом. Такое действие аппарата интерпретации представляет собой прогнозирование.

Прогнозирование, - имитация получения новой информации на основе информации поступающей в текущий момент и ее сопоставления с совокупностью информации поступившей ранее.

Память о том, что было в прошлом, используется в процессе прогнозирования для определения того, что будет в будущем. Для обеспечения этой возможности объект должен вступать в такие информационные взаимодействия со средой, из которых он получает не только информацию, непосредственно реализуемую в данный момент, но и информацию, которая для него в данный момент бесполезна. Чем выше внутренняя организация объекта и сложнее комплекс его взаимодействий со средой, тем больше он должен получать бесполезной в текущем моменте информации, накапливая её в своей памяти. Необходимость этого вытекает из неопределенности того, какие конкретно взаимодействия могут произойти в дальнейшем, и какая текущая информация будет в них реализована. Совокупное наличие памяти, возможности обобщения и прогнозирования стало предпосылкой развития абстрактного мышления. Оно заключается в том, что имитируется и обрабатывается информация, связанная с явлениями, которых, может быть, никогда не было и никогда не будет.

Память каждого объекта всегда ограничена, а большая часть поступающей информации так и остается невостребованной. При этом общее её количество (с точки зрения переносащих её информационных кодов), безусловно, превышает возможности полного её запоминания. Для предотвращения переполнения памяти и соответственно потери возможности её нормального функционирования обязательно должен существовать механизм её чистки (забывания), дающий возможность использовать те же элементы памяти для запоминания новой информации. Механизм чистки памяти может быть реализован на основе неустойчивости сохранения активных состояний элементов памяти, с помощью которых фиксируется информация. Они постепенно самовосстанавливаются в пассивном состоянии и скорость этого восстановления тем больше, чем реже поступает информация приводящая их в соответствующее активное состояние. В более сложном случае возобновление активного состояния может обуславливаться не в процессе получения, а в процессе использования запомненной информации, подтверждающем её полезность. Ещё одна возможность чистки памяти может заключаться не в полном стирании следов информации, а в переводе множества отдельных, но взаимосвязанных параметров состояния групп элементов памяти в обобщенный вид и сохранении уже обобщенной информации в состоянии параметров других элементов. Это требует меньше ресурсов памяти, хотя и влечет потерю детализации.

Многоклеточный организм вырастает из одной зародышевой клетки, формируемой материнским организмом. Главной частью этой клетки является молекула ДНК, управляющая информацией, от которой реализуется в развитии клетки, последующем многократном ее делении, и затем в развитии и делении ее дочерних клеток. На состав и свойства элементов, а значит и функции, дочерних клеток оказывает влияние то, какие клетки уже образовались ранее. Неизменным у всех клеток остается только состав и структура молекулы ДНК.

Структура ДНК представляет собой две линейных цепочки нуклеотидов попарно соединенных и закрученных в спираль. На каждой позиции цепочки может находиться только один из четырех возможных видов нуклеотидов. Самовоспроизведение клетки начинается с разделения этих двух цепочек и формирования к каждой из них такой же парной, какая была ранее. Для одноклеточных организмов этот процесс заканчивается появлением второй клетки идентичной первой, для многоклеточных это выполняется не всегда. Каждая клетка имеет ограниченное число функции определяемых информационным воздействием отдельных участков ее ДНК на остальные элементы. Это воздействие однозначно определено комбинацией входящих в данный участок видов пар нуклеотидов. В одноклеточных организмах таких пар в ДНК входит от 1 до 10 млн. Поскольку в многоклеточных организмах одинаковые молекулы ДНК управляют совершенно разными клетками, то количество необходимых для этого пар нуклеотидов возрастает и составляет уже от 100 млн. у простейших до 3,3 млрд. у человека (у земноводных почему-то еще больше). При этом упоминавшаяся ранее доля избыточности этих пар растёт вместе с ростом их количества. У человека доля управляющих участков составляет 3% в общем количестве пар. Избыточность обеспечивает защиту передаваемого от клетки к клетке через ДНК врожденного аппарата интерпретации информационных кодов и защиту управляющей информации генерируемой ДНК. Чем сложнее информационные взаимодействия, тем больше требуется защита самой ДНК и передаваемой ею информации.

Изменчивость клеток, обуславливается тем, что нарушения структуры ДНК при её воспроизведении всё же случаются. Небольшие нарушения ведут к несущественным индивидуальным изменениям свойств клеток, значительные, случающиеся крайне редко, к появлению новых их видов, если они окажутся жизнеспособными. Появление новых видов даёт материал для естественного отбора и таким образом приводит к эволюции живых форм. Индивидуальные изменения важны для сохранения вида, потому что обеспечивают возможность появления групп его индивидуальных организмов приспособленных к происходящим изменениям внешней среды. Индивидуальная изменчивость даже стимулируется многими видами многоклеточных через процесс полового размножения, в котором молекула ДНК зародыша формируется из молекул двух родительских организмов и, не совпадая ни с одной из них, обладает своим собственным потенциалом информационных взаимодействий.

В многоклеточных организмах, в ходе их эволюции, процессы обработки информации усложняются и приобретают новые качества. Но при этом сохраняется действие и всех существовавших прежде более простых процессов (вплоть до каталитического), действующих в отдельных информационных взаимодействиях самостоятельно или входящих как часть в более сложные процессы. Все сложное строится из простого и, приобретая новые качества, во многом сохраняет прежние. Новые качества, развиваясь, обуславливают возникновение еще более сложных новых качеств.

Таким новым качеством стала для многоклеточных организмов способность выступать в информационные взаимодействия со средой не только в роли объекта принимающего информацию, но и целенаправленно её передающего. Это создало предпосылки для развития информационного взаимодействия между организмами в целях согласования их действий ведущих к повышению устойчивости существования каждого из них. Стали возникать социальные образования, способные выступать по отношению к окружающей среде как самостоятельные объекты, реализующие взаимодействие с ней через комплекс специфичных действий отдельных своих членов связанных внутренними информационными взаимодействиями. Основное отличие эволюции социальных образований от эволюции живых форм заключается в том, что она происходит не из случайных факторов изменения ДНК, а из постепенного развития возможностей информационного взаимодействия между членами этих образований. Общим у обоих видов эволюции является естественный отбор наиболее жизнеспособных вариантов. Собственно второй вид эволюции не заменяет первый, а происходит на его фоне и только в тех рамках, которые им определены.

2.5 Социальные образования

Существование любого социума предполагает согласование действий его членов в направлении обеспечения существования самого социума в целом и в направлении обеспечения существования отдельных его членов. Согласование действий достигается процессами информационного обмена внутри социума. В структуре этих процессов не появляется ничего нового по сравнению с таковыми в многоклеточных организмах. Имеются приёмники исходной информации. От них начинаются потоки следящей информации, соединяющиеся в промежуточных узлах и доходящие до главного центра. Из центра генерируется управляющая информация, расходящаяся через узлы к исполнителям, которые совокупностью своих действий реализуют исходную информацию в целесообразном для социума направлении. Некоторые цепочки информационных потоков могут не проходить через центр, а разворачиваться в промежуточных узлах. У многоклеточных организмов такие цепочки тоже имеются. И у организмов и в социумах основной объем потоков следящей и управляющей информации связан с необходимостью взаимного обеспечения жизнедеятельности образующих их элементов. Т.е. основная доля информационных процессов служит для того, чтобы могла существовать «вещь в себе». И социумы и организмы могут проявляться как «вещь для других» во взаимодействиях с внешними объектами, в том числе во взаимодействиях с иными социумами. И, наконец, социумы могут входить как элементы в более сложные социумы.

Самым примитивным социумом является толпа. В толпу объекты объединяются для достижения какой-либо одной цели. Толпа характеризуется крайне низким уровнем взаимодействия её членов, это определяет примитивный уровень её возможных действий как целого, хотя каждый её член в отдельности может обладать большим потенциалом разнообразных действий. Толпа недолговечна, она распадается при достижении цели, на основе которой она возникла, или при исчезновении этой цели по другим причинам.

Основные отличия социума от организма, заключаются в том, что он возникает другим путем, нежели многократное последовательное деления одного элемента, и каждый элемент социума обладает в некоторой мере способностью существовать автономно от него. Эти отличия несколько не важны с точки зрения рассмотрения механизмов происходящих в них информационных взаимодействий. Принципиальное различие имеется лишь в составе, свойствах и возможности изменения средств, используемых для организации информационных взаимодействий. Такими средствами у наиболее развитых социумов является язык как знаковая система, определяющая правила построения информационных кодов, и совокупность носителей этих кодов, обеспечивающих их длительное существование во времени и передачу на большие расстояния в пространстве. Эволюция социумов связана с развитием средств информационного взаимодействия его членов, и средств построения и использования их совокупной памяти. Скорость этой эволюции значительно выше, чем скорость эволюции организмов. Это связано с тем, что средства информационных взаимодействий, используемые социумом, могут включать в себя не только средства органически присущие его членам, но и средства привносимые в него извне. Высокоразвитые социумы могут целенаправленно развивать используемые ими внешние средства информационного взаимодействия. Средства, без которых социум уже не способен существовать, можно уже считать органически присущими ему элементами.

Таким образом, в природе имеет место общность принципов информационных взаимодействий происходящих между объектами на различных уровнях организации природных явлений. Эта общность позволяет нам восполнять пробелы в изучении информационных процессов на одном уровне, пользуясь знаниями об аналогичных процессах другого уровня. В конечном итоге, знание общих принципов позволяет подойти к организации для какого-либо объекта, таких его внутренних и внешних информационных взаимодействий, которые будут наилучшим образом поддерживать цели его существования.

3. ЭНТРОПИЯ и ИНФОРМАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одна из наиболее поразительных особенностей любой биологической системы - необычайная высокая степень координации между её отдельными частями. В клетке одновременно и согласованно могут происходить тысячи метаболических процессов. У животных от нескольких миллионов до нескольких миллиардов нейронов и мышечных клеток своим согласованным действием обеспечивает координированные движения, сердцебиение, дыхание и кровообращение. Распознавание образов — процесс в высшей степени кооперативный, равно как и речь и мышление у людей. Совершенно очевидно, что все эти высоко координированные, когерентные процессы становятся возможными только путем обмена информацией, которая должна быть произведена, передана, принята, обработана, преобразована в новые формы и должна участвовать в обмене информацией между различными частями системы и между различными иерархическими уровнями. Информация - решающий элемент существования самой жизни.

Информация может обретать роль среды, существование которой поддерживается отдельными частями системы - среды, из которой эти части получают конкретную информацию относительно того, как им функционировать когерентно, кооперативно.

Биологические структуры упорядочены на всех уровнях от макромолекул до человека – живое испытывает антиэнтропийные тенденции. Для утверждения, что упорядоченность одной системы выше, чем другой, нужно эти упорядоченности измерить. Измеримая, выражаемая числом упорядоченность может относиться лишь к макросостоянию системы. В распоряжении физики имеется лишь одна величина, характеризующая степень упорядоченности - энтропия. Оценим поэтому изменения энтропии, связанные с возникновением биологической организации.

Тело человека содержит примерно 10^{13} клеток. Допустим, что среди них нет ни одной пары одинаковых и что ни одну пару нельзя поменять местами без нарушения функционирования организма. Это значит, что относительное расположение клеток в теле человека однозначно. Количество информации, необходимой для построения такой единственной структуры из 10^{13} возможных,

$$I = \log_2(10^{13}!) \approx 10^{13} \log_2 10^{13} \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ бит} \quad (1)$$

Отсюда следует, что понижение энтропии при построении организма человека из клеток составит

$$\Delta S \approx 2 \cdot 10^{-24} \cdot 4 \cdot 10^{14} \approx 10^{-9} \text{ эе.} \quad (2)$$

При испарении одного грамма воды энтропия повышается примерно на 1 эе. Таким образом, понижение энтропии при переходе от хаотически расположенных клеток к организму человека численно равно повышению энтропии при испарении 10^{-9} грамм воды. Принятые постулаты об отсутствии одинаковых клеток и о невозможности их перестановок лишь увеличили рассчитанное по формуле (1) количество требуемой информации, так что ΔS на самом деле гораздо меньше.

Количество молекул биополимеров (белков, нуклеиновых кислот, полиуглеводов и др.) в одной клетке составляет в среднем 10^8 . Допустим снова, что все молекулы различны, а их относительное расположение уникально. Количество информации, необходимой для построения одной клетки из готовых биополимеров,

$$I \approx 10^8 \log_2 10^8 \approx 2,6 \cdot 10^9 \text{ бит.} \quad (3)$$

а для всех клеток в организме человека $2,6 \cdot 10^{22}$ бит, что соответствует понижению энтропии примерно на $6 \cdot 10^{-2}$ эе.

Организм взрослого человека содержит около 7 кг белков и 150 г ДНК, что соответствует $\approx 3 \cdot 10^{25}$ аминокислотных и $\approx 3 \cdot 10^{23}$ нуклеотидных остатков. Для создания единственной последовательности из $20^3 \cdot 10^{25}$ возможных, для белка необходимо $\approx 10^{26}$ бит. Для ДНК необходимо $\approx 6 \cdot 10^{23}$ бит. В пересчете на энтропию получаем для белков и ДНК 300 и 1,4 эе соответственно.

Таким образом, упорядоченность биологической организации человеческого тела "стоит" 301,5 эе и подавляющий вклад вносит упорядоченное распределение аминокислотных остатков в белках. Понижение энтропии при возникновении такой биологической организации с легкостью компенсируется тривиальными физическими и химическими процессами. Повышение энтропии на 300 эе обеспечивается испарением 170 г воды.

Эти оценки показывают, что возникновение и усложнение биологической организации происходит практически «бесплатно». Все разговоры об антиэнтропийных тенденциях биологической эволюции основаны на недоразумении. Согласно физическим критериям, любая биологическая система упорядочена не больше, чем кусок горной породы того же веса. Хотя эти оценки верны, они вызывают чувство неудовлетворенности. Ведь упорядоченность биологических структур и процессов очевидна. Если физика говорит, что эта упорядоченность ничего не стоит, то хочется ответить: тем хуже для физики. Интуитивно чувствуется, что биоструктуры обладают особой упорядоченностью, измерять которую в энтропийных единицах, конечно, можно, но многого для понимания особенностей живой материи при этом не стоит ожидать. В основе ощущения особой упорядоченности биологических структур лежит то обстоятельство, что она имеет смысл. Осмысленно то, что имеет цель.

Больцман в 1886 попытался с помощью энтропии объяснить, что такое жизнь. По его мнению, жизнь это явление, способное уменьшать свою энтропию. «*Всеобщая борьба за существование это борьба против энтропии*». Согласно Больцману и его последователям, все процессы во Вселенной изменяются в направлении хаоса. Вселенная идет к тепловой смерти. Антитезой Больцману выступали эволюционисты. В частности Ч.Дарвин показал, что процессы жизни не только не деградируют, но всё время усложняются. И если прав Больцман, то почему мы до сих пор ещё живем?

4. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информация, передаваемая организмами по наследству – наследственная информация – сейчас называется генетической информацией.

Генетическая информация - программа свойств организма, получаемая от предков и заложенная в наследственных структурах в виде генетического кода.

Генетическая информация - информация о строении белков, закодированная с помощью последовательности нуклеотидов – генетического кода - в генах (особых функциональных участках молекул ДНК или ПНК).

Генетическая информация определяет морфологическое строение, рост, развитие, обмен веществ, психический склад, предрасположенность к заболеваниям и генетические пороки организма. Реализация генетической информации происходит в процессе синтеза белковых молекул с помощью трёх РНК: информационной (иРНК), транспортной (тРНК) и рибосомальной (рРНК). Процесс передачи информации идет: - по каналу прямой связи: ДНК - РНК - белок; и - по каналу обратной связи: среда - белок - ДНК.

Транскрипция - биосинтез РНК на матрице ДНК, осуществляющийся в клетках организма. Транскрипция - первый этап реализации генетического кода, в ходе которого последовательность нуклеотидов ДНК переписывается в нуклеотидную последовательность РНК.

В хранении, передаче и преобразовании генетической информации центральное место занимают нуклеиновые кислоты. Решающим фактором при этом является способность нуклеиновых, оснований к специфическому (комплементарному) спариванию.

Реализация и передача генетической информации проходит по стадиям:

Хранение информации. Генетическая информация закодирована в последовательности нуклеотидов ДНК, организованных в функциональные участки, называемые генами. (РНК как носитель генетической информации используется только некоторыми вирусами.) Участки ДНК кодируют белки, т. е. они содержат информацию об аминокислотной последовательности белков. Каждый остаток представлен в ДНК своим кодовым словом (кодоном), состоящим из трех следующих друг за другом оснований. На уровне ДНК кодоны образуют её некодирующую цепь (последовательность нуклеотидов, которой соответствует последовательности мРНК).

Репликация. Во время деления клеток генетическая информация должна перейти в дочерние клетки. Для достижения этого вся ДНК клетки копируется в процессе репликации во время S-фазы клеточного цикла, при этом каждая ее цепь служит матрицей для синтеза комплементарной последовательности.

Транскрипция. Для экспрессии гена, т.е. синтеза закодированных в нём белков, последовательность нуклеотидов кодирующей цепи ДНК должна быть трансформирована в аминокислотную последовательность. Поскольку ДНК не принимает непосредственного участия в синтезе белка, информация, хранящаяся в ядре, должна быть перенесена на рибосомы, где и осуществляется биосинтез белков. Для этого соответствующий участок кодирующей цепи ДНК считывается (транскрибируется) с образованием гетерогенной ядерной РНК, т. е. последовательность этой РНК комплементарна кодирующей цепи ДНК. Поскольку в РНК вместо тимина содержится урацил, ААГ триплет ДНК трансформируется в UUC-кодон гяРНК.

Созревание РНК. У эукариот гяРНК, прежде, чем покинуть ядро в виде матричной РНК (мРНК), претерпевает существенные изменения: из молекулы вырезаются избыточные (некодирующие) участки (интроны), а оба конца транскриптов модифицируются путем присоединения дополнительных нуклеотидов.

Трансляция. Зрелая мРНК попадает в цитоплазму и связывается с рибосомами, преобразуя полученную информацию в аминокислотную последовательность. Рибосомы - рибонуклеопротеидные комплексы, включающие несколько десятков белков и несколько молекул рибосомной РНК (рРНК (rRNA)). Рибосомные РНК выполняют функцию структурного элемента рибосом, а также принимают участие в связывании мРНК и образовании пептидных связей.

Механизм преобразования генетической информации основан на взаимодействии кодонов мРНК с транспортной РНК [тРНК (tRNA)], которая переносит на рибосому аминокислоты, связанные с 3'-концом тРНК, в соответствии с информацией, закодированной в мРНК. Примерно в середине цепи тРНК расположен триплет, называемый антикодоном и комплементарный соответствующему кодону а мРНК. Если транслируется кодон UUC, то с ним взаимодействует антикодон в составе Phe-тРНК, несущей на 3'-конце остаток фенилаланина. Таким образом, остаток аминокислоты занимает положение, в котором на него может быть перенесена растущая полипептидная цепь, связанная с соседней тРНК.

Активация аминокислот. Прежде чем связаться с рибосомой, транспортные РНК присоединяют соответствующую аминокислоту с помощью специфического «узнающего» фермента, обеспечивающего точный перенос (трансляцию) генетической информации с уровня нуклеиновых кислот на уровень белка.

Нуклеиновые кислоты - высокомолекулярные органические соединения, биополимеры (полинуклеотиды), образованные остатками нуклеотидов. Нуклеиновые кислоты - ДНК и РНК присутствуют в клетках всех живых организмов и выполняют важнейшие функции по хранению, передаче и реализации наследственной информации. Генетический код - это свойственный всем живым организмам способ кодирования аминокислотной последовательности белков при помощи последовательности нуклеотидов.



В ДНК используется четыре нуклеотида - аденин (А), гуанин (G), цитозин (C), тимин (Т), которые в русскоязычной литературе обозначаются буквами А, Г, Ц и Т. Эти буквы составляют алфавит генетического кода. В РНК используются те же нуклеотиды, за исключением тимина, который заменён похожим нуклеотидом - урацилом, который обозначается буквой U (У в русскоязычной литературе). В молекулах ДНК и РНК нуклеотиды выстраиваются в цепочки и, таким образом, получают последовательности генетических букв.

Для построения белков в природе используется 20 различных аминокислот. Каждый белок представляет собой цепочку или несколько цепочек аминокислот в строго определённой последовательности. Эта последовательность

определяет строение белка, а следовательно все его биологические свойства.

Реализация генетической информации в живых клетках (т. е. синтез белка, кодируемого геном) осуществляется при помощи двух матричных процессов: транскрипции (то есть синтеза иРНК на матрице ДНК) и трансляции генетического кода в аминокислотную последовательность (синтез полипептидной цепи на матрице иРНК). Для кодирования 20 аминокислот, а также сигнала «стоп», означающего конец белковой последовательности, достаточно трёх последовательных нуклеотидов. Набор из трёх нуклеотидов называется триплетом.

К свойствам генетического кода относятся триплетность - значащей единицей кода является сочетание трёх нуклеотидов (триплет, или кодон); непрерывность - между триплетами нет знаков препинания, то есть информация считывается непрерывно; неперекрываемость - один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух или более триплетов; однозначность - определённый кодон соответствует только одной аминокислоте; вырожденность (избыточность) - одной и той же аминокислоте может соответствовать несколько кодонов; универсальность - генетический код работает одинаково в организмах разного уровня сложности - от вирусов до человека (на этом основаны методы генной инженерии).

Трансляция - финальная стадия синтеза рибосомой белка из аминокислот на матрице информационной (или матричной) РНК.

Транскрипция - процесс синтеза РНК с использованием ДНК в качестве матрицы, происходящий во всех живых клетках. Другими словами, это перенос генетической информации с ДНК на РНК.

5. ЭНТРОПИЯ И ОБЩЕСТВО

Многие ученые не считают феноменологические законы термодинамики законами природы, а рассматривают их как частный случай при работе с газом с помощью тепловой машины. Поэтому не рекомендуются расширенная трактовка энтропии в физике. Но необратимость протекающих физических процессов и самой жизни – это факт. Поэтому вполне оправдано использование понятия энтропии в нефизических дисциплинах для характеристики состояния системы.

Все природные системы, включая человеческий организм и человеческие сообщества, не являются замкнутыми. Открытость системы позволяет локальным образом уменьшать энтропию за счёт обмена энергией с окружающей средой, что приводит к упорядочению и усложнению структуры системы. Человеческие сообщества в любом виде, от племен и групп до народов и социальных обществ, также являются системами. Каждое человеческое сообщество имеет свои законы и структуру взаимодействий. Рассмотрим общество в целом, ограничивая его рамками государств. Любое общество как система старается сохранить себя в окружающем мире. Для этого существуют государственные, общественные, социальные и другие институты. Применение энтропии для характеристики общества позволяет установить рамки, в пределах которых общество может успешно развиваться или, наоборот, деградировать. В настоящее время

существует множество параметров, характеризующих то или иное общество. Но большинство из этих параметров сводится к двум видам: параметры, характеризующие открытое демократическое общество, и параметры, описывающие тоталитарные системы.

Почему западные государства достигли такого впечатляющего прогресса в экономике и государственном устройстве и существенно опережают в своем развитии другие общественные системы? Западное общество характеризуется большей степенью открытости. Более открытая система, с одной стороны, впускает в себя больше энергии из внешнего мира и дает больше степеней свободы своим элементам, с другой стороны – позволяет увеличить отток «недоброкачественной» энергии. Таким образом, энтропия системы уменьшается. При этом усложняется структура системы. В более замкнутой общественной системе имеют место обратные процессы. Энтропия увеличивается. Структура общества упрощается. Пример - Северная Корея. Структура общества упростилась до трёх основных элементов – партийная элита, армия и всё остальные.

Для успешного развития общества необходимо соблюдение некоторых условий. Главное - степень свободы элементов общества, т.е. людей. Степень свободы человека можно определять в терминах прав человека, политических свобод, экономических возможностей. Человек должен иметь право на свободу выбора целей и путей их достижения. Если право выбора человека слишком ограничивается, то в обществе начинаются застойные процессы, и оно постепенно приходит в упадок. Как пример можно привести СССР. Выбор человека ограничивался идеологическими установками и партийной принадлежностью. Добиться успеха, сделать карьеру вне партии было сложно. В конце концов, осталась одна возможность продвижения: школа, институт комсомол, партия. Партийная принадлежность была необходима для достижения успеха в любой сфере деятельности. Такой вариант общественных отношений, в конечном счете, привёл к упрощению структуры общества и последующему упадку.

Открытость общества не является панацеей от всех бед, но создает предпосылки для дальнейшего прогресса. Демократия - не лучшая система управления. Но это одна из необходимых степеней свободы. Можно вычислить необходимое для развития количество степеней свободы личности. Перебор не желателен. В этом случае отдельные части общества получают слишком большую независимость, что может привести к распаду целого на отдельные независимые составляющие. Поэтому на Западе наблюдается такое огромное количество норм и правил, регулирующих все сферы жизни человека. Большое количество норм и законов необходимо для регулирования сложной структуры общества и сохранения его целостности. Не следует также путать экономическую и военную мощь государства с общественными институтами. Замкнутые общества могут иметь оболочку в виде мощных и сильных государств. СССР тому пример. Государство является вторичным по отношению к обществу. Государства могут исчезать, но люди на территории остаются, и, следовательно, остаётся общество, которое в отсутствии государства может получить новый импульс к развитию. Если же распадается общество, то государство исчезает навсегда. В России государственное устройство неоднократно менялось, но общество, видоизменяясь, не распадалось.

При использовании понятия энтропии нельзя обойтись без закона сохранения. К сожалению, он гласит, что если энтропия где-то убывает, то где-то она прибывает. Прогресс человечества в целом, и общественных институтов - в частности, приводит к уменьшению энтропии системы. Значит, энтропия окружающей человека среды увеличивается. Это приводит к гибели природы и экологическим катастрофам. На земле кроме человека есть и другая жизнь. Реакция живой природы на разрушающие действия человеческой системы может быть многообразной: от новых болезней и эпидемий до мутантов и планетарных катастроф.

Чем больше свободы, тем быстрее растёт энтропия. В самом деле, скорость роста энтропии – это скорость появления разнообразных способов организации сущностей, а свобода способствует этому появлению, ускоряет рост числа способов организации. Это означает, что чем больше свободы, тем быстрее низкоэнтропийные сущности превращаются в высокоэнтропийные. Обсуждаемое здесь свойство энтропии можно рассматривать как с физических, так и с социальных позиций, связанных с понятием прав человека и политической свободы в обществе. Известно что чем больше у художника свободы, тем хуже он творит. Свобода – необходимое условие для роста энтропии, ликвидации различий и, следовательно, разрушения любой сущности, в том числе и человеческой. Чем больше свободы, тем труднее человеку и обществу сконцентрировать свои способности и энергию на достижении определённой цели, ибо свобода препятствует концентрации. Парадоксально, но из второго начала следует, что неограниченная свобода – враг творчества. Высокое творчество требует от автора сосредоточенности (низкой энтропийности) и самоограничения свободы.

Политический синоним свободы – демократия. Чем более демократична политическая система, тем больше возможностей, свободы она предоставляет для создания разнообразных политических,

экономических и других институтов – партий, общественных объединений и движений, форм собственности, способов управления и т.д. Чем больше скорость появления новых способов существования политической системы, тем выше скорость роста её энтропии. Таким образом, демократия – чрезвычайно высокоэнтропийная политическая система, отличающаяся от других систем высоким уровнем производства политического, экономического и другого многообразия и, значит, энтропии.

Термодинамическая деградация идей. Ещё одно важное социальное проявление второго начала термодинамики состоит в том, что рост энтропии вызывает деградацию не только материальных сущностей, но и идей. Идею можно рассматривать как некую идеальную сущность, идеализированную модель материальной сущности. В момент генерации идеи её автором она выражена единственным способом и её энтропия минимальна. Но как только идея становится общественным достоянием и начинает обсуждаться, появляется множество разных точек зрения, других пониманий этой идеи. Это означает, что растёт множество способов существования идеи, то есть растёт её энтропия. В результате идея превращается в некое расплывчатое понятие, люди перестают понимать её первоначальный смысл, она теряет свою мобилизующую силу. Процесс роста идеологической энтропии - термодинамическая деградация идеи.

Примером термодинамической деградации крупных социальных идей может служить коммунистическая идея. В исходном состоянии она была сформулирована в 1848 в «Коммунистическом манифесте» Маркса и Энгельса предельно ясно: коммунизм – это отмена частной собственности. А к концу XX века, после обсуждения коммунистами многочисленных различных точек зрения, в проекте последней программы КПСС она в соответствии со вторым началом деградировала и трансформировалась в предельно туманную формулировку: «общественный идеал, основанный на общечеловеческих ценностях, на гармоничном соединении прогресса и справедливости, свободной реализации личности». Под этим определением мог бы подписаться любой капиталист.

Другой пример - термодинамическая деградация демократической идеи в нашей стране после 1991. Вначале она воспринималась однозначно, как идея свободы. Но идея свободы получила множество интерпретаций. Оказалось, что свободу можно понимать не только как свободу слова, шествий и собраний, но и как свободу быть независимым от общества, действовать вопреки его интересам, грабить народ, лгать, умирать с голоду и т.д. В итоге демократическая идея стала высокоэнтропийной и тоже потеряла сейчас свою мобилизующую силу.

Поведение энтропии в открытых системах. Энтропия неотвратимо растёт только в закрытых системах, не взаимодействующих с другими системами и внешней средой. Но в открытых системах энтропия может вести себя по-разному: расти, быть постоянной и даже уменьшаться. В отличие от закрытых систем, где есть только собственная, всегда растущая энтропия, в открытых системах существуют, во-первых, собственная энтропия, которая, как и в закрытых системах, всегда растёт, во-вторых, энтропия, поступающая в открытую систему из внешней среды (импортируемая энтропия), и, в-третьих, энтропия, удаляемая из открытой системы во внешнюю среду (экспортируемая энтропия). Следует учесть и свободную энергию (негэнтропию), компенсирующую рост собственной энтропии, которая по своему воздействию на систему эквивалентна экспорту энтропии. Поведение результирующей энтропии зависит от скорости изменения её составляющих, подобно тому как изменение уровня воды в бассейне зависит от скорости подачи и удаления воды. Поэтому результирующая энтропия может вести себя как угодно: расти, уменьшаться или быть постоянной. Если энтропия постоянна, то система находится в стационарном режиме.

Термодинамическая движущая сила и её социальный смысл. Любой социум или страну можно рассматривать как открытую термодинамическую систему. Её энтропийное состояние удобно характеризовать величиной термодинамической движущей силы (ТДС), отражающей разность между удалением (экспортом) и приростом энтропии в каждый момент времени. Положительная ТДС (положительное энтропийное сальдо) означает преобладание в энтропийном балансе экспорта энтропии над её приростом, что ведёт к уменьшению результирующей энтропии, т. е. к укреплению страны. Поэтому *каждая страна должна стремиться увеличивать свою ТДС*. Для этого нужно увеличивать экспорт энтропии, т.е. прирост негэнтропии. Например, интеллект, деньги, дешёвое сырьё, дешёвая рабочая сила являются источником негэнтропии. Поэтому их выгодно ввозить, а не вывозить. Наоборот, отходы производства имеют высокую энтропию, и их выгодно вывозить, а не ввозить. Невыгодно также накопление денег и прочих сокровищ, так как это омертвление капитала. Поскольку капитал не работает, то его накопление такого неработающего капитала можно рассматривать как рост связанной энергии, т. е. рост энтропии. Поэтому накопление правительством России Стабилизационного фонда можно считать накоплением энтропии, т. е. вредным явлением для развития страны.

С позиций импорта или экспорта энтропии можно рассматривать полезность не только материальных, но и идеологических продуктов. Например, стране невыгоден ввоз идей, произведений искусства, кинофильмов, печатной продукции и т.д., если они разрушают опорные точки национального самосознания, разъединяют и дезорганизуют общество, то есть повышают социальную энтропию внутри страны. Аналогичную разрушительную роль играют отечественные произведения из этого ряда. К сожалению, сейчас культурная политика власти всё это поощряет, т. е. объективно работает против возрождения России. Никакие доводы о рейтинге, о доходах с рекламы, об интересе зрителей и т.д. не могут служить оправданием этой разрушительной культурной политики.

Стационарный режим открытой системы – это режим компенсации прироста энтропии её оттоком (экспортом) и приростом неэнтропии: режим с нулевой термодинамической движущей силой. В стационарном режиме результирующая энтропия постоянна. Стационарный режим для любой страны означает стабильность её социальной жизни.

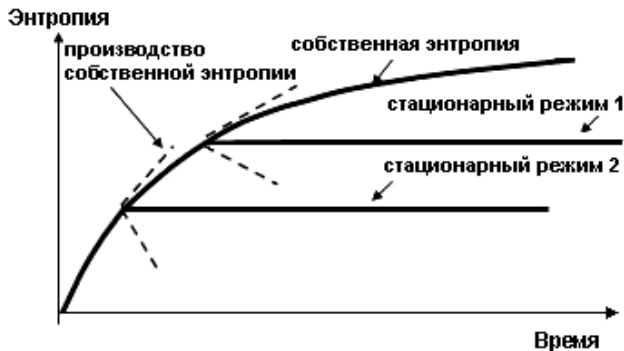


Рис.1 Рост экспорта энтропии.

Графически этот режим представлен на **Рис. 1**, где кривая линия показывает рост собственной энтропии социума, наклон пунктирных касательных, идущих вверх, характеризует производство (скорость роста) энтропии в точках касания, а наклон пунктирных линий, идущих вниз, – скорость роста экспорта энтропии, компенсирующего прирост собственной энтропии. При равенстве этих наклонов

режим стационарен, результирующая энтропия постоянна (горизонтальные линии), а жизнь социума – стабильна.

Жизнь социума в стационарном режиме 1 по сравнению с режимом 2 характеризуется более высокой результирующей энтропией и более низким уровнем её производства. Учитывая одно из социальных свойств энтропии – чем выше уровень демократии (разнообразия и свободы выбора), тем больше производство социальной энтропии, можно сказать, что жизнь социума в режиме 1 менее демократична, чем в режиме 2. Чтобы сделать её более демократичной и перейти в режим 2, нужно увеличить рост экспорта энтропии (отрицательный наклон нижней пунктирной линии). В этом случае открывается возможность более быстрого роста собственной энтропии, т. е. демократии, сопровождаемая одновременным уменьшением результирующей энтропии при сохранении стационарного режима.

Энтропия и национальная демократия. Для каждой страны, если она хочет жить в стабильном режиме, уровень демократии должен соответствовать экспорту энтропии. Этот уровень можно назвать *национальной демократией*. В разных странах экспорт энтропии разный, поэтому разным должен быть уровень демократии, при котором режим сохраняет свою стабильность. *Это значит, что общего для всех стран стандарта демократии не существует.* Высокий уровень западной демократии обеспечивается высоким экспортом энтропии, а требования Запада установить во всех странах демократические режимы по своему западному образцу, со своим, присущим Западу уровнем демократии несостоятельны, более того, преступны, так как ведут к разрушению общества и страны. Насильственная реализация этих требований в странах с низким экспортом энтропии, недостаточным для компенсации роста собственной энтропии, соответствующего западной демократии, приводит не к стационарному режиму с постоянной энтропией, а к режиму с возрастающей энтропией. В результате в этих странах (страны Африки, Ирак, бывшая Югославия), нарастает дезорганизация всех сторон жизни и они становятся лёгкой добычей Запада.

Почему не разваливаются демократические США, и может ли Россия позволить себе демократию западного образца? Возникает вопрос: почему такая страна, как США, с её высоким уровнем свободы, а значит, и производства энтропии, не разваливается, сохраняет стационарный режим и имеет низкую результирующую энтропию? Объяснить этот феномен можно только существующим в США высоким экспортом энтропии, компенсирующим её рост. Может быть, неосознанно, но США, по существу, следуют научно-обоснованным рекомендациям по снижению результирующей энтропии, вытекающим из второго начала термодинамики для открытых систем. Компенсация роста энтропии обеспечивается: во-первых, *высоким импортом неэнтропии*, обязанным прибыли, получаемой вследствие эксплуатации дешёвых трудовых и природных ресурсов других стран непосредственно в этих странах, а также ввозу интеллекта зарубежных учёных и специалистов; во-вторых, *неограниченным печатанием долларовой валюты*, с 1971 не обеспеченной золотым запасом США, что эквивалентно генерации *неэнтропии* или экспорту энтропии; и в-

третьих, *высоким экспортом непосредственно производственной энтропии*, так как США выбрасывают в окружающую среду 40% мировых высокоэнтропийных отходов. Кроме того, в США действует весьма жёсткое законодательство, сурово карающее за налоговые преступления и преступления против личности, вплоть до смертной казни, что ограничивает скорость роста собственной энтропии. Это позволяет США иметь развитую демократию с высоким производством энтропии и низким уровнем результирующей энтропии (**Рис. 1**, режим 2). Такого же уровня демократии США и Западная Европа требуют от России. Но Россия никогда не эксплуатировала, подобно США и другим странам «золотого миллиарда», слаборазвитые страны. Россия не печатает мировую валюту. Россия, в отличие от США, подписала Киотский протокол, ограничивающий её выбросы отходов в окружающую среду. Россия не ввозит, а экспортирует в США и Западную Европу свою интеллектуальную элиту, а взамен импортирует высокоэнтропийные идеи индивидуализма. Кроме того, в России действует весьма либеральное, способствующее ускоренному росту энтропии уголовное законодательство, вплоть до моратория на смертную казнь по западноевропейскому образцу. Всё это приводит к тому, что уровень экспорта энтропии в России оказывается недостаточным для компенсации роста своей энтропии и существования западных стандартов демократии. Введение в России таких стандартов, не обеспеченных высоким экспортом энтропии, неизбежно ведёт к развалу страны. Уровень демократии в России, если она хочет находиться в стабильном режиме, может быть лишь таким, который позволяет иметь существующий, невысокий пока российский экспорт энтропии. Именно такая, *национально-ориентированная демократия* и должна называться по современной терминологии *суверенной*.

Термодинамическая причина развала СССР и её связь с национальной идеей. Понятие стационарного режима позволяет ответить на ряд важных социальных вопросов, в том числе связанных с национальной идеей. Одним из них является широко дискутируемый до сих пор вопрос о причинах развала СССР. Нынешние лидеры КПРФ катастрофу СССР объясняют предательством руководства страны. Однако это объяснение выглядит слишком поверхностным и малоубедительным, ибо тогда следует признать крах царизма в 1917 году следствием слабости личности царя, а вовсе не всей системы царизма.

Причины гибели СССР можно объяснить на основе второго начала термодинамики для открытых систем. С позиций второго начала фундаментальной причиной гибели СССР является быстрое нарастание собственной энтропии, не компенсируемое её экспортом или приростом негэнтропии, вследствие чего термодинамическая движущая сила страны стала отрицательной и она вышла из стационарного режима. Следовательно, основная причина развала СССР та, которая оказала наибольшее влияние на ухудшение энтропийного баланса. Очевидно, в СССР важнейшим источником негэнтропии, поддерживавшей энтропийный баланс, была коммунистическая идея социальной справедливости, порождавшая трудовой энтузиазм. Благодаря ей долгое время СССР существовал в стационарном режиме. Но к концу XX века коммунистическая идея по закону термодинамической деградации любых идей потеряла свою мобилизующую силу, общество перестало верить в неё, новых мобилизующих идей КПСС не выдвинула, объём негэнтропии сократился и перестал компенсировать рост собственной энтропии. СССР стал деградировать как социальная система и погиб в соответствии со вторым началом термодинамики. Отсюда вытекает важный вывод, что поскольку любая идея, в том числе социальная, подвержена термодинамической деградации, то вызываемый ею энтузиазм обязательно закончится, а социальная система, основанная лишь на этом энтузиазме, в конце концов обречена на поражение и распад.

Двудеинная задача сохранения России и русской цивилизации. Русская цивилизация, как и другие, содержит материальную и духовную составляющие. В настоящее время обе они приходят в упадок. Поэтому сохранение русской цивилизации требует решения двух взаимосвязанных задач. *Первая задача* состоит в том, что необходимо принять срочные меры по снижению энтропийности всех компонентов и структур русской цивилизации – от отдельной личности до общества и государства, что будет способствовать подъёму материальной составляющей. *Вторая задача* – все компоненты и структуры общества одновременно с понижением их энтропии нужно наполнять высокой нравственностью, соответствующей сути и духу русской цивилизации, что будет способствовать подъёму духовной составляющей. Государство русской цивилизации должно быть низкоэнтропийным и одновременно высоконравственным.

Задача снижения энтропийности русской цивилизации. Судьба русской цивилизации неотделима от судьбы России. В период демократической вакханалии 90-х годов скорость роста энтропии русского общества сильно возросла, и хотя внутреннее положение России в последние годы несколько стабилизировалось, тем не менее, оно характеризуется высоким уровнем энтропии, требующим значительного понижения. Дело в том, что Россия – это особая открытая система, характеризуемая большим количеством различий – национальных, религиозных и других. Устранение этих различий невозможно, без

них Россия не будет Россией. Из второго начала термодинамики следует, что с ростом энтропии системы степень различий в ней падает и наступает системный кризис. Сохранение различий в открытой системе возможно только при низком уровне результирующей энтропии. Отсюда следует, что Россия, как великая многонациональная и многоконфессиональная держава, может существовать только как низкоэнтропийная система, иначе она развалится.

Уровень результирующей энтропии любой открытой системы определяется тремя составляющими: собственной энтропией, экспортируемой энтропией и свободной энергией (негэнтропией). Соответственно, снижения результирующей энтропии можно добиться уменьшением скорости роста собственной энтропии, увеличением экспорта энтропии и созданием новых источников негэнтропии. В совокупности перечисленные меры могут стабилизировать результирующую энтропию или даже понизить её.

Снижение скорости роста собственной энтропии. Главным фактором здесь служит социальная свобода, способствующая росту многообразия различных форм социального поведения. Чем больше этой свободы, тем быстрее растёт собственная энтропия. Примерами социальных свобод являются личные свободы и права человека, политические свободы слова, собраний и шествий, свободы создания разнообразных политических и общественных институтов и организаций, политических партий и т.д. Для замедления роста собственной социальной энтропии демократия должна быть ограничена чёткими границами допустимого социального поведения и мерами по их неукоснительному соблюдению. Эту задачу можно решать разными методами: и воспитанием, и законодательством, и наказанием. Соответственно в её решении должны принимать участие и семья, и светское общество, и церковь, и государственная власть.

Увеличение экспорта энтропии. Компенсация роста собственной социальной энтропии возможна путём увеличения её экспорта путём вывоза высокоэнтропийных промышленных и социальных отходов. Что касается промышленных отходов, то, к сожалению, Россия их не вывозит, а, наоборот, ввозит из других стран, в том числе ядерные. К социальным энтропийным отходам относится всё то, что увеличивает энтропию общества. Например, такими отходами можно считать социальные институты, организации, партии, идеи и прочее, если они способствуют развалу общества; а также всевозможные асоциальные профессии и занятия (бездуховное искусство, игорный бизнес, проституция и др.), не создающие общественных ценностей.

Для выживания России сейчас необходима мобилизационная, т. е. низкоэнтропийная, экономика, основной задачей которой является замедление роста собственной энтропии и обеспечение её высокого экспорта. Для реализации мобилизационных мер больше всего подходит власть в виде политического единоначалия – диктатуры одного человека или одной партии. Формы мобилизации могут быть разными, но их суть в нынешней России, должна быть одна – решение в течение ограниченного срока самых острых, первоочередных проблем, например прекращения вымирания народа, снижения преступности и социального расслоения до заданного уровня и т.д.

Увеличение социальной негэнтропии. Замедление роста социальной энтропии требует принятия мер по социальному оздоровлению общества, сопровождаемых ограничением демократии. Если такие меры для общества неприемлемы, то компенсация собственной энтропии должна быть связана с ростом негэнтропии. Роль социальной негэнтропии выполняет всё то, что может прямо или опосредованно совершать полезную для общества работу: любые виды энергии, деньги, товары, прибавочная стоимость рабочей силы и т.д. Интегральным количественным показателем имеющейся у страны негэнтропии является объём всеобщего валового продукта (ВВП). Сейчас большую часть этого объёма образуют денежные доходы от продажи энергоносителей. Поскольку это опасно, нынешняя структура негэнтропии должна быть изменена. В основу экономики России должны быть положены инновационные проекты, приносящие негэнтропийный доход от внедрения наукоёмких высоких технологий. Создание таких технологий требует восстановления интеллектуального потенциала России, создания льготных условий для всех тех, кто разрабатывает наукоёмкие технологии, способствует воспроизводству интеллекта, т. е. работает в сфере науки и образования. Только таким путём можно избавиться от «наркозависимости» экономики от экспорта энергоносителей.

Помимо экономических способов извлечения негэнтропии, существуют и другие, внеэкономические. Особенностью русской цивилизации по сравнению с западной является идеологический способ увеличения социальной негэнтропии. Если для Запада источник негэнтропии находится в основном извне, в окружающем мире, и носит экономический характер, то Россия всегда ориентировалась не на ввоз, а на внутреннее производство негэнтропии за счёт идеологии. В СССР многие десятилетия роль внутреннего генератора негэнтропии играла коммунистическая идея социальной справедливости, рождавшая трудовой энтузиазм. Как только потенциал коммунистической идеи понизился, производство энтропии перестало

компенсироваться негэнтропией, термодинамическая движущая сила страны оказалась отрицательной и произошла социальная катастрофа. Сейчас России необходим новый мощный внутренний источник негэнтропии – новая национальная идея. К сожалению, единой общезначимой национальной идеи у России сейчас нет.

Задача подъёма духовной компоненты русской цивилизации. Низкая энтропийность необходима России для обеспечения державной мощи как государственной опоры русской цивилизации. Однако для России одного лишь превращения в низкоэнтропийное государство недостаточно. В истории человечества низкоэнтропийными были многие государства, но назвать их великими с гуманитарных позиций нельзя – они были мощными, но абсолютно безнравственными, бесчеловечными и потому преступными. Низкая энтропийность ещё не означает высокой нравственности. Дело в том, что энтропия – объективная физическая характеристика законов термодинамики, а нравственность – характеристика субъективная, духовная и потому законам термодинамики не подчиняющаяся. В связи с этим однозначной зависимости между нравственностью и энтропией не существует.

Особенностью величия России как государства русской цивилизации всегда была не только её державная мощь, но и духовное богатство, высокая нравственность российского общества. В связи с этим возникает вторая задача сохранения русской цивилизации – возрождение духовной и нравственной мощи России, т. е. наполнение создаваемой низкоэнтропийной державной мощи России традиционными русскими ценностями. Национальная идея должна быть не только низкоэнтропийной, обеспечивая державную мощь России путём сплочения народа, но и высоконравственной. Общая для многонациональной, многоконфессиональной и великодержавной русской цивилизации идея не может быть только религиозной, только национальной или только государственной. Она должна выражать интересы всех народов и всех социальных слоёв русской цивилизации. Для этого она должна быть связана с общей ключевой чертой русской цивилизации – совестью.

Обе задачи сохранения русской цивилизации: создание низкоэнтропийных государственных и общественных структур и их наполнение высокой духовностью и нравственностью – должны решаться синхронно, согласованно, гармонично. Согласованность выражается в том, чтобы энтропия уменьшалась соразмерно росту нравственности. Если этой согласованности нет и снижение энтропии будет идти быстрее, чем рост нравственности, может образоваться сильное низкоэнтропийное, но безнравственное государство криминального типа. Или наоборот, если рост свободы и демократии будет опережать снижение энтропии, может образоваться слабое высокоэнтропийное государство псевдодемократического типа, которое не сможет просуществовать долго.

Итак идеологическим обеспечением решения задачи возрождения державной и духовной мощи нашей страны может стать национальная идея «жить по совести», организационным – кратковременная конституционная диктатура для создания низкоэнтропийной мобилизационной экономики и решения наиболее острых проблем, научно-теоретическим – фундаментальные законы Природы, то есть начала термодинамики. В совокупности эти компоненты могут и должны обеспечить сохранение России и русской цивилизации.

Энтропия человека – функция от числа состояний, в которых он может находиться с той или иной вероятностью. Чем их больше и чем они равновероятней, тем больше его энтропия. Многие ошибочно полагают, что первобытный человек был свободен делать все что захочет. Но в действительности его свобода выбора была минимальна. Вся его жизнь была регламентирована строгими правилами выживания. Любые отклонения от стандартного поведения, допустим, на охоте могли стоить жизни ему и его семье. Тогда как у современного человека гораздо больше выбор, больше свободного времени, большее число возможных состояний и значительно выше энтропия. Остается без внимания тот факт, что с ростом числа связей в обществе ослабляется влияние внешней среды на человека. На первый взгляд, сельский житель свободней городского. Он не скован многими правилами, которые вынужден соблюдать горожанин. Но оказывается что у него меньше свободного времени, что его жизнь регламентирована уходом за животными и посевами. Он не может себе позволить изменить своё расписание и свои действия – т. е. его энтропия ниже, чем у городского жителя. Чем больше энтропия общества, тем больше в нём возможных состояний и тем более развитым оно является. Чем больше текущая величина энтропии, тем больше возможностей для дальнейшего развития и тем выше темпы её роста. Поэтому энтропия характеризует не только текущий уровень развития общества, но и темпы его прогресса. Эта двойственность энтропии приводит к экспоненциальному, лавинообразному характеру эволюции.

Энтропия может передаваться от системы к системе. Рассмотрим две подсистемы: человеческое общество и окружающая среда. Предположим, что для того, чтобы выжить, общество на каждое состояние

окружающей среды обязано вполне определенным образом изменить и своё состояние. Эти изменения станут обязательными, а не возможными, как ранее. Естественно, что энтропия общества при этом уменьшится. Если же общество подчиняет и преобразовывает природу, делая её «предсказуемой», то вместе с уменьшением энтропии окружающей среды увеличивается энтропия общества.

Представим теперь себе аморфное общество, в котором совершенно нет никаких упорядоченных взаимосвязей между субъектами. У такого общества есть одно состояние, в котором оно и пребывает. Поэтому его энтропия равна 0. Это положение соответствует «тепловой смерти». Предположим, что общество стало более организованным и у него появилось множество каких-то возможных состояний. Это значит, что каждый индивид уже не обладает полной свободой: если общество принимает какое-то определенное положение, то и он обязан оказаться в соответствующем состоянии, теряя при этом часть своей энтропии. Следовательно, если у общества появляется одно новое состояние, то каждый субъект, имеющий отношение к этому институту, должен пожертвовать одним своим свободным состоянием, которое становится для него обязательным при переходе общества в это новое положение. Исходя из этого, можно предположить, что если каждый субъект «отдаст» обществу определенную величину своей энтропии, то энтропия всего общества возрастет на такую же величину.

Рассмотрим взаимодействие общества с индивидом. Каждый институт можно представить в виде множества соответствующих субинститутов, которые назовем сопряженными. Так, например, институт государственного строя состоит из субинститутов, связанных с влиянием государственного регулирования на субъекты общества. У каждого из них существует ряд состояний, объединенных в субинститут государственного строя, который определяет его поведение как гражданина. Множество таких субинститутов всех граждан образует институт государственного строя. Но не все субинституты являются сопряженными и входят в состав институтов. Институт - не просто совокупность сопряженных субинститутов, а самостоятельное общественное образование. Так же, как и живой организм, является чем-то большим, чем механический набор клеток, из которых состоит. Институт и его сопряженные субинституты могут обмениваться энтропией. Величина переданной институту энтропии равна среднему значению изменения энтропии отдельного сопряженного субинститута, взятого с противоположным знаком. Следовательно, энтропия общества увеличится, если энтропия субъектов в рамках конкретных институтов уменьшится. Это говорит о существовании внутри института механизма ограничивающего свободу субъекта. Правила, законы, мораль и т.д. И все эти меры призваны увеличить свободу и энтропию всего общества. Однако каждый индивид стремится увеличить собственную энтропию. Он «жертвует» ею для общества т.к. существует множество негативных факторов, с которыми в одиночку справиться невозможно – только обществу в целом. Субъект отдает часть своей энтропии обществу, чтобы оно справилось с определенными задачами, и позволило бы ему увеличивать свой уровень энтропии. Ограничение своей свободы правилами вызвано стремлением увеличить уровень своей энтропии. Это понятно, вспомним, что предприниматели постоянно отдают свой капитал, но не потому, что он им не нужен, а потому что рассчитывают его увеличить в будущем. Правило повышения энтропии посредством инвестирования «работает» и в общественной сфере. И так же в случае обманутых ожиданий обществу грозит кризис, только на этот раз социальный.

Основные институты – те, которые обеспечивают основные потребности членов общества. Но каков механизм их работы и в чем заключается цель их образования? Если цель развития общества – увеличение энтропии, то институты должны способствовать этому. Есть закон инвестиций в изменении энтропии. Поэтому если члены общества хотят увеличить свою энтропию, они сначала должны её уменьшить «вложив» в институты.

Каждая система характеризуется свободной энтропией и общим уровнем энтропии. Общество, столкнувшись с необходимостью обеспечить притоком энтропии основные институты, может заимствовать её у вспомогательных институтов двумя способами. Первый - временно увеличить свободную энтропию и, используя эту возможность для развития, преобразовать вспомогательный институт, с целью максимального уменьшения общего уровня энтропии. Второй - снизить до нуля только свободную энтропию без реформирования. Второй способ менее затратен и более быстр. Но он обеспечивает незначительное снижение общего уровня энтропии вспомогательного института, и создает условие для институциональной ловушки. Институциональная ловушка – состояние второстепенного института, когда его общий уровень энтропии максимален, а величина свободной энтропии – минимальна. Для общества такое сочетание нежелательно, так как высокий уровень энтропии во вспомогательных институтах уменьшает её уровень в основных институтах. А минимальная энтропия вспомогательного института, попавшего в ловушку, означает его крайне низкую способность к изменениям. Для осуществления реформ необходимо передать

ему дополнительную энтропию. Выход из институциональной ловушки возможен только при передаче части энтропии от основного вспомогательному институту, что воспринимается как непопулярная мера.

Таким образом, социальные, экономические и культурные явления - различные грани движения энтропии между различными системами, подсистемами и структурами. Поэтому, изучив законы изменения энтропии, мы выйдем на новый уровень понимания самых разнообразных общественных и экономических явлений.

В этой лекции мы под информацией будем понимать сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы их представления. Подобная информация уменьшает степень неопределенности, неполноту знаний о лицах, предметах, событиях и т.д. Именно на такой информации строится информационное общество, информационное пространство и информационная экономика.

В данной лекции мы рассмотрим некоторые аспекты информационного бизнеса менеджмента и рынка.

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

В настоящее время экономика развитых стран становится всё более информационной, а общество существует в информационном пространстве и всё чаще использует информационные технологии.

Информационная экономика - экономика, в которой большая часть валового внутреннего продукта обеспечивается деятельностью по производству, обработке, хранению и распространению информации и знаний, причём в этой деятельности участвуют более половины занятых.

Информационная технология - совокупность методов, производственных и программно-технологических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации. Информационные технологии предназначены для снижения трудоёмкости процессов использования информационных ресурсов.

1.1 Информационное пространство

Информационное пространство - совокупность банков и баз данных, технологий их сопровождения и использования, информационных телекоммуникационных систем, функционирующих на основе общих принципов и обеспечивающих: информационное взаимодействие организаций и граждан; и удовлетворение их информационных потребностей.

Основными компонентами информационного пространства являются: информационные ресурсы, средства информационного взаимодействия и информационная инфраструктура.

Информационные ресурсы - совокупность данных, организованных для эффективного получения достоверной информации. Информационные ресурсы - отдельные документы и отдельные массивы документов, документы и массивы документов в информационных системах: библиотеках, архивах, фондах, банках данных, других видах информационных систем.

Информационное взаимодействие - любое взаимодействие между объектами, в процессе которого один приобретает некоторую субстанцию, а другой её не теряет. При этом передаваемая субстанция называется информацией.

Из этого определения следует два свойства информации. 1) информация не может существовать вне взаимодействия объектов; 2) информация не теряется ни одним из них в процессе этого взаимодействия. Основным понятием является **ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС**, причём информация является концентрированным выражением состояния этого процесса на некотором условно завершённом его этапе. Информация появляется во время взаимодействия и исчезает вместе с ним. При этом отрезок времени между передачей и приёмом информации всегда больше нуля и меньше бесконечности.

Информационная инфраструктура - система организационных структур, обеспечивающих функционирование и развитие информационного пространства страны и средств информационного взаимодействия. Включает совокупность информационных центров, банков данных и знаний, систем связи; и обеспечивает доступ потребителей к информационным ресурсам.

Психологические проблемы взаимодействия человека с информационной средой включают такие аспекты, как человек в информационном пространстве, здоровье нации в информационном пространстве и методы психологической защиты человека в информационной среде.

Правовые проблемы информатизации включают информационное право, проблемы правового регулирования интеллектуальной собственности, законодательные и нормативные акты, направленные против хищения информационных ресурсов и продуктов, законодательные акты по легализации и защите электронных документов, государственная политика в области защиты информационных ресурсов общества, международный обмен информацией, международное сотрудничество в области защиты интеллектуальной собственности и др.

Антиобщественные аспекты и формы использования информации включают информационные агрессии, информационные войны, информационный голод, дезинформацию, утечку и уничтожение информации. Социальные последствия антиобщественных форм использования информации. Формирование информационной этики.

Информатика как предмет обучения занимается моделями образования в области информатики, выработкой основ квалификации специалистов в области информатики, выбором объектов профессиональной деятельности специалистов в области информатики различных квалификаций и уровней подготовки, выработкой Государственных образовательных стандартов по подготовке специалистов в области информатики, характеристикой вузовских специальностей и специальностей послевузовского обучения и др.

Информатика как метод обучения - это информационные технологии в обучении: дистанционное образование, автоматизированные обучающие системы, образовательные мультимедиа технологии, цели и задачи дистанционного образования; классификация форм дистанционного обучения; методы организации; информационное и документационное обеспечение; сетевые технологии в дистанционном обучении; использование Интернет-технологий в образовании; методы текущего и итогового контроля с использованием компьютерных технологий; оценка качества дистанционных систем обучения.

Во второй половине 60-х годов в Японии возникло понятие «информационное общество», используемое в качестве одного из главных ориентиров при планировании экономического развития страны. Это понятие в дальнейшем было взято на вооружение другими странами. Стоимость информационных услуг и количество людей, занятых в сфере информационного обслуживания активно растут, например, в США в начале 80-ых годов сфере информационных услуг было занято 45% всех работающих в стране, а в начале нового тысячелетия - 70%. Рост числа работников в информационной сфере вызван пространственно-временным увеличением и усложнением информационных потоков. Вступление государства в «информационную цивилизацию» подтверждается макроэкономическими показателями, в частности, увеличением доли информационного сектора в валовом национальном продукте и повышением доли работников информационной сферы в общей численности занятых.

Информационный бизнес занимает заметное место в структуре экономики промышленно развитых стран. Д.С.Робертсон (США) выдвинул формулу «цивилизация - это информация». Опираясь на количественные меры математической теории информации, он ранжирует цивилизации по количеству производимой ими информации на 5 следующих уровнях: 0 - информационная емкость мозга отдельного человека - 10^7 бит; 1 - устное общение внутри общины, деревни или племени, количество циркулирующей информации - 10^9 бит; 2 - письменная культура; мерой информированности общества служит Александрийская библиотека, имеющая 532800 свитков, в которых содержится 10^{11} бит информации; 3 - книжная культура: имеются сотни библиотек, выпускаются десятки тысяч книг, газет, журналов, совокупная емкость которых оценивается в 10^{17} бит; 4 - информационное общество с электронной обработкой информации объемом 10^{25} бит.

Информация осознана современным обществом как необходимое условие прогресса. Наибольший экономический успех сегодня сопутствует тем предприятиям, которые активно используют современные средства коммуникаций, информационные технологии и их приложения. Новые информационные технологии и связанные с ними прикладные задачи требуют создания новой среды - информационной, а также систем управления информационными ресурсами.

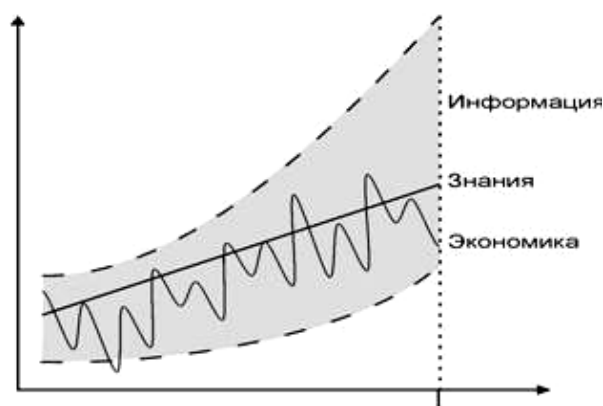


Рис. 1. Соотношение скоростей накопления информации, знаний и развития экономики

Информационные технологии возникли вместе с появлением человеческого общества, но до XX века они не были предметом специального изучения, ибо настолько естественно выполняли свою роль в жизни людей, что просто не было необходимости в выделении их в специальную сферу рассмотрения.

С появлением компьютеров и с началом их использования для сбора, обработки и хранения данных скорость накопления

информации во много раз стала превышать динамику развития знания и практической экономики (Рис.1, верхняя пунктирная граница). Внимание к этой проблеме стало особенно велико в последнее время, когда наиболее отчетливо проявился разрыв между объемом информации в обществе и возможностями отдельного человека в ее освоении. Сейчас большинство социальных процессов приобрели ярко выраженную особенность информационных, т. е. не просто связанных с операциями извлечения информации, её трансляции в пространстве и времени, переработки, а в большей степени - с избирательным отношением человека к информации, с потребностью в специальных инструментах, обеспечивающих необходимую избирательность.

В информационной экономике хозяйственная деятельность заключается в производстве и применении информационных технологий и накопленной информации с целью сделать все другие формы производства более эффективными и тем самым обеспечить новое качество экономического роста, а также в создании информационных продуктов и услуг. Ограничивающие факторы здесь - скорость обработки огромных объемов информации и возможность её превращения в научное знание. Технологизация общества и автоматизация управленческих, производственных и информационных процессов призваны не только обеспечивать потребности этого общества в товарах и услугах, включая информационные, но и более

эффективно использовать энергию, природные и материальные ресурсы (сырье, финансы, оборудование, информация знания), а главное - экономить социальное время, необходимое для реализации этих потребностей.

Информационный потенциал такого общества можно представить как сформированное в формализованном виде и в формах пригодных для практического использования концентрированное выражение научных знаний и практического опыта, позволяющее наиболее рациональным образом организовать процессы создания информационных продуктов и услуг. При этом результат оценивается по совокупной экономии затрат труда, энергии, материальных и информационных ресурсов, необходимых для реализации этих процессов. Опыт развитых стран показывает, что именно развитый рынок высоких технологий, использующих самые современные достижения науки и техники, их распространение внутри страны и продвижение на внешние рынки дают этим странам заметное экономическое преимущество и социальную стабильность.

Общество развивается и начинает приобретать черты информационного общества, если: любой член общества, группа лиц, предприятие или организация в любой точке и в любое время могут получить на основе систем связи и анонимного или авторизованного доступа бесплатно или за соответствующую плату любую информацию и знания, необходимые для их жизнедеятельности и решения личных и социально значимых задач; в обществе производится, функционирует и доступна для использования любым его членом, группой или организацией современная информационная технология; имеются развитые инфраструктуры, обеспечивающие создание личных, корпоративных, региональных и национальных информационных ресурсов в объеме, необходимом для поддержания жизнедеятельности в рамках постоянно убыстряющегося научно-технологического и социально-исторического прогресса; происходит процесс ускоренной автоматизации, роботизации и информатизации решающих сфер и отраслей производства и управления; происходят радикальные изменения социальных структур, следствием которых оказывается расширение сферы информационной деятельности и услуг и развитие общества в целом; информационная структура общества является предпосылкой расширения прав личности, свободы, демократии и самоуправления и обеспечивает плавный переход от постиндустриального периода развития к глобальной информатизации общества

Существуют негативные черты, явно проявляющиеся уже в переходном периоде - это и всё усиливающееся давление информационной среды на личность, и отношение личности к знаниям, которые в условиях информационного общества становятся аналогом богатства. Последнее имеет свойство концентрироваться в руках небольшой группы лиц. Таким образом, не только уровень знания, но и характер отношения к информации становится основанием нового социального неравенства в информационном обществе.

Можно выделить позитивные и негативные факторы психологического влияния информационного общества на личность. К позитивным относится: развитие компьютерных технологий, обеспечивающих личности свободу выбора; возможность создания и использования необходимых для жизнедеятельности электронных коммуникаций; каждый индивидуум одновременно является и получателем, и отправителем информации, в любое время и в любом месте; возможен доступ в единую сеть различных баз данных; обеспечивается постоянное интерактивное взаимодействие (диалог), т. е. непрерывная обратная связь между участниками информационного обмена; человек перестает быть «мелким винтиком» социального механизма - у него повышается степень ответственности и формируется новая, более высокая и устойчивая самооценка; каждый человек создает свою глубоко индивидуальную «картину мира», которая может интегрироваться с аналогичными картинками других людей, что помогает людям обрести истину в некотором приближении; возрастает степень комфорта использования информации и технологий в практических областях деятельности. К негативным относится: незащищенность личности перед вторжением государства и коммерческих структур в частную жизнь; расширение возможностей получения данных о любом индивидууме; обратной стороной свободы является угроза для личной автономии; поставщики информации могут манипулировать данными в своих интересах; привыкание к жизни в виртуальном пространстве и угроза моральному иммунитету личности вследствие фанатичной преданности компьютерам и вере в их непогрешимость. Нейтральные моменты, которые могут быть как позитивными, так и негативными в зависимости от уровня развития общества и контекста ситуации: меняется модель профессиональной карьеры - появляется возможность работать, не выходя из дома; возник виртуальный работодатель и виртуальный работник; появилась новая система найма и социального страхования работников, уменьшается значение профсоюзов; создается эфемерное единство виртуального мира с любым

количеством людей одновременно, которое, однако, является неустойчивым и может разрушиться в одно мгновение, нанеся его создателю психологическую травму; реальное общество индивидуализируется и обретает высокий уровень фрагментации.

Всё это требует тщательного философского осмысления, и это необходимо учитывать при определении места и роли человека в новой информационной среде и использовании её в бизнесе. Текущий этап развития информационных технологий характеризуется развитием как глобальных всемирных сетей для хранения и обмена информацией, доступных любой организации и каждому члену общества, так и систем искусственного интеллекта, и должен, вероятно, завершиться построением глобального информационного общества. Ранее усилия были сосредоточены на данных - их сборе, хранении, передаче, анализе и представлении. Следующий её этап формулирует иной вопрос: «Каков СМЫСЛ информации и в чем её НАЗНАЧЕНИЕ?» Это приводит к переопределению задач, которые должны выполняться с помощью информации, к переопределению целей, и к переопределению институтов, исполняющих эти задачи.

Проблемы, стоящие на пути информационно общества, весьма многочисленны. Наиболее существенными из них являются: выработка соглашений и установление стандартов, протоколов для компьютерных разработок и телекоммуникаций; необходимость разработки распределенных ИС; организация доступа к стратегической информации; организация защиты и безопасности корпоративной информации.

1.2 Информационный менеджмент

Характерная черта нынешнего развития мировой экономики - достижения в развитии наукоёмких производств. Благодаря всепланетному масштабу коммуникаций и росту уровня образования «ноу-хау» практически сразу после изобретения становятся общечеловеческим достоянием. В условиях динамичного развития рынка, усложнения его инфраструктуры информация становится таким же стратегическим ресурсом, как и традиционные материальные и энергетические. Современные технологии, позволяющие создавать, хранить, перерабатывать и обеспечивать эффективные способы представления информации, стали важным фактором конкурентоспособности и средством повышения эффективности управления всеми сферами общественной жизнедеятельности. Уровень информатизации является сегодня одним из главных факторов успешного развития всякого предприятия.

Менеджер любого уровня, принимая решения, основывается лишь на доступной ему информации о предмете управления, поэтому от качественных характеристик этой информации: адекватность, полнота, достоверность, своевременность, непротиворечивость и т. п., непосредственно зависит эффективность его работы. В современных условиях информационные системы играют большую роль в достижении стратегических целей компаний. Это влечёт за собой новые требования к информационным системам и их функциям. Они не могут оставаться просто инструментом, обеспечивающим обработку информации для отделов и конечных пользователей внутри предприятия. Теперь они должны предоставлять новые изделия и услуги, основанные на информации, которые обеспечат бизнесу конкурентное преимущество на рынке.

Применяемые на предприятии информационные технологии поддерживают реализацию тех или иных решений менеджеров. Однако новые системы и технологии диктуют свои специфические условия ведения бизнеса. Менеджер должен уметь извлекать максимальную выгоду из потенциальных преимуществ информационных технологий. Он обязан обладать достаточными знаниями для того, чтобы осуществлять общее руководство процессом применения информационных технологий в компании и понимать, когда требуются дополнительные затраты ресурсов в этой области или помощь сторонних специалистов. Главная цель руководителя, менеджера - приложить максимум усилий для того, чтобы модель деятельности, которую он строит с целью совершенствования своего бизнеса, наполнилась бы с помощью информационных технологий реальным современным содержанием!

Информационные технологии изменили не только способ работы - они изменили способ делового стратегического мышления. Первые быстродействующие компьютеры использовались предпринимателями в основном для автоматизации процессов, которые раньше выполнялись вручную большим числом сотрудников невысокой квалификации; типичный пример - обработка данных. Сегодня новая техника и технологии применяются не только для автоматизации сбора и обработки данных, но и для реализации новых идей, новых способов получения конкурентного преимущества. Распределенные информационные системы и сетевые технологии сузили мир до размеров рабочего стола и экрана монитора, безгранично увеличив деловые возможности за счёт быстрого и простого доступа к огромным объемам информации и инструментам работы с ней.

Новые менеджеры делают ставку на осознанный выбор стратегий и целей на базе информационной оценки ситуации и компьютерного моделирования, на целевые команды исполнителей, объединяющих профессионалов высокого класса, на оптимальную координацию проектных и рабочих групп, ориентируются на запросы и ожидания потребителя. Аналитики с помощью экспертов и консультантов, используя математические методы и соответствующие программные приложения, тщательно исследуют ситуации, разрабатывают варианты деловых

решений с оценкой рисков и вероятности успешной реализации, проводят деловые игры, проверяя построенные модели. Именно информационные технологии и информационные системы широкого профиля делают возможным такой стиль гибкого и эффективного управления и всячески стимулируют его развитие.

Некоторые характеристики информации делают её объектом использования в бизнесе. Информация достоверна, если она не искажает истинного положения дел во внешней и внутренней бизнес-средах; информация полна, если она достаточна для понимания ситуации и принятия решения пользователем; качество информации, её ценность состоит в мере расширения полезной совокупности сведений и смысловых связей между ними, которыми располагает пользователь или система; ценность одной и той же информации относительна - она зависит от конкретного временного периода, конкретной ситуации и конкретного пользователя; информация адекватна, если уровень соответствия информационного образа реальному объекту, процессу, системе адекватен заданному.

Экономическая информация - совокупность сведений о реальных социально-экономических процессах в обществе, которая служит основой для изучения и управления этими процессами и людьми, объединенными в социальные и производственные организации. Для экономической информации характерны следующие параметры: многообразие источников и потребителей; нарастающие значительные объемы и большой удельный вес рутинных процедур при их обработке; многократное повторение циклов получения и отправки в установленные временные периоды (декада, месяц, квартал, год); необходимость обеспечения конфиденциальности в использовании отдельных ее частей; чрезвычайная важность в подготовке и принятии деловых решений.

Продуктом деятельности управленца, как известно, являются решения. Любое управленческое решение имеет поставщика или источник информации, адресата решения и последствия. Есть три главных поставщика «сырья» для управленческих решений: 1) Внешний мир (клиенты, партнеры, конкуренты, государство), который трудно контролировать, - предоставляет информацию, какую хочет и когда хочет. Информация эта может быть неполной, недостоверной или просто ложной. 2) Предприятие (руководители всех уровней, исполнители). Эту информацию как будто можно контролировать и управлять ею. Однако люди имеют разные должности, образование и опыт, разные взгляды на жизнь и разные цели. Естественно, что информация, предоставляемая ими, субъективна - она требует проверки и уточнения. 3) Руководитель - его интеллект, опыт, интуиция, возможности, связи. Он аккумулирует, сортирует и анализирует информацию, отбирая ту, которая, как кажется ему, поможет принять нужное решение. Третий источник представляется руководителю самым надежным, но возможности его, к сожалению, не безграничны. Слабо или неточно реагируя на информацию, поступающую из внешнего мира и из собственной фирмы, руководитель рискует стать заложником собственных представлений и иллюзий.

В течение последнего десятилетия в российском бизнесе сложилось несколько устойчивых стереотипов относительно использования информационных ресурсов. Например: руководитель нуждается в абсолютно полной информации; чем больше информации, тем лучше; к моему бизнесу нельзя подходить с обычными мерками!; предприятие, обеспеченное первоклассной информацией и соответствующими технологиями, может и должно работать как часы; неважно, кому подчиняется ИТ-служба». Всё это – мифы.

На самом деле руководителю нужна не «полная информация по предприятию» - ему нужна совокупная, достоверная, взвешенная информация (собранные и обработанные данные), распределенная по основным направлениям финансово-экономической и производственной деятельности компании, пригодная для всестороннего анализа и достаточная для принятия решения. Её объем, степень формализации и детализации определяет сам руководитель в соответствии с информационной политикой предприятия, важностью задач, положением руководителя в иерархии управления, его ответственностью и уровнем компетентности, пониманием целей и миссии компании.

Работа с информацией и информационная культура в целом является одним из важнейших компонентов попыток компании управлять изменениями. Есть три принципиальные причины, в силу которых менеджер сегодня должен заботиться об информационной культуре своей компании. 1. Она становится важнейшей частью общей организационной культуры. Всё больше компаний понимают необходимость преобразований, ориентированных на удовлетворение ожиданий потребителя. Чтобы сегодня влиять на будущее, нужно представлять себе, на что оно будет похоже. А для этого нужно работать с разнообразнейшей деловой, рыночной, политической, технологической и социальной информацией. 2) Информационные технологии делают возможным создание в компаниях компьютерных сетей, с помощью которых идёт общение между менеджерами, - но важно знать, как люди используют эту информацию. Само по себе создание такой сети со всеми её рабочими станциями и мультимедийными возможностями не гарантирует того, что информация будет использоваться разумно и эффективно. 3. Для разных функциональных служб, подразделений и рабочих групп информационная культура

различна, а это означает различие подходов к процессам осознания, сбора, организации, обработки, распространения и использования информации. Поэтому многие менеджеры согласятся с тем, что корпоративная информационная культура важна для выработки стратегии и осуществления перемен.

Сферы применения информационных технологий в современном обществе чрезвычайно велики. В **Табл. 1** приведены основные и производные сферы использования ИТ. В современном обществе основным технологическим средством накопления, переработки и защиты информации служит корпоративный и/или персональный компьютер и программная среда, которые существенно повлияли как на концепцию построения и использования технологических процессов, так и на качество результата. Внедрение персонального компьютера в информационную сферу и применение телекоммуникационных средств связи определили новый этап развития ИТ и, как следствие, изменение названия технологии за счет присоединения одного из символов: «новая», «компьютерная» или «современная» (**Табл.2**).

Табл.1. Сферы применения информационных технологий

Экономика	Политика	Культура	Наука
Производственные отношения	Государство	Эпохи	Теория
Производство	Власть	Уклады	Методы
Финансы	Общество	Традиции	Средства
Бизнес-правила	Международные и региональные организации и отношения	Религия	Систематизация
Взаимодействие	Партии	Национальные ценности	Научно-технические революции
Продукт	Общественные организации	Этика	Применение
Услуга		Искусство	Результаты
Система		Образование	Последствия
Качество		Спорт	
Потребитель			

Таким образом, понятие информационная технология является ёмким понятием, отражающим современное представление о процессах преобразования и потребления информации в информационном обществе.

Табл. 2. Информационная технология

Методология	Основной признак	Результат
Целенаправленные создание, хранение, передача и отображение информации	Учет закономерностей изменения социальной среды и бизнеса. Ориентация на знания	Новые подходы к организации производства. Смещение фокуса на потребителя
Новая технология обработки информации	Целостные технологические информационные системы	Интеграция функций специалистов и менеджеров
Принципиально новые средства обработки информации	"Встраивание" в технологию управления	Новые технологии принятия управленческих решений

До недавнего времени информация не считалась важнейшим активом для компании. Процесс управления деятельностью организации зависел от персонального воздействия первых лиц компаний без обширного процесса координации усилий менеджеров и анализа данных. Деловые решения принимались первыми лицами компаний чаще всего на основе опыта и интуиции, и лишь в небольшом числе случаев - на основе специально подготовленной информации, содержащей варианты решений и оценку вероятности их осуществимости. Лишь мощные компании могли позволить себе иметь аналитические центры, готовившие материал для принятия решений. Развитие вычислительной техники кардинально изменило окружающую среду бизнеса. На **Рис. 2** показаны главные предпосылки развития ИТ, основанные на компьютерных и телекоммуникационных технологиях.

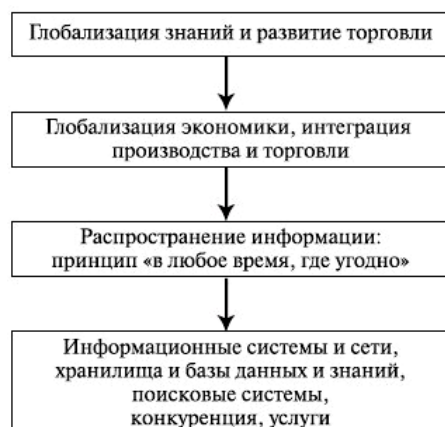


Рис. 2. Предпосылки развития информационных технологий.

Глобализация и интегрированное развитие индустриальных экономик значительно расширяет возможности бизнеса. Информационные технологии и информационные системы обеспечивают мобильный доступ и аналитическую мощь, которые удовлетворяют потребности в проведении торговли и руководстве предприятиями в масштабе стран и континентов. Это создает

угрозы национальным и региональным фирмам: глобальная связь и системы управления доставляют потребителю информацию о предложениях, качестве и ценах и позволяют совершать сделки и заказы в течение 24 часов в сутки в любом месте, где есть доступ в сеть. В **Табл. 3** приведены основополагающие факторы, необратимо изменившие к концу XX века деловую среду.

Табл.3. Информационные факторы, влияющие на информационную среду.

Глобализация	Преобразование индустриальных экономик	Преобразование предприятия
Управление и контроль в глобальном масштабе	Экономика, основанная на знаниях и информации	Неформальные цели и обязательства
Конкуренция и взаимодействие на мировых рынках	Стратегическая ценность информации	Децентрализация и гибкость
Глобальные системы доставки информации	Знания как основа производительности и качества	Локальная независимость
Распределенная групповая работа	Новые изделия и услуги	Расширение полномочий
Международные соглашения и стандарты	Конкуренция, основанная на скорости принятия оптимального решения	Снижение стоимости сделок за счет информационного маркетинга
	Расширение базы знаний персонала	Смещение фокуса с технологии на потребителя

Таким образом, мировой рынок становится открытым, ни одна из фирм не может чувствовать себя в безопасности. Чтобы стать эффективным участником этого рынка, компании нуждаются в мощной информационной поддержке и современных системах связи.

Применение информационных технологий позволяет радикально изменить стиль управления и сами бизнес-процессы и значительно улучшить основные показатели деятельности компании. Прежние правила ведения бизнеса стремительно устаревают. Компании, которые не в состоянии "увидеть" значимость этих изменений, рискуют сильно отстать (**Табл.3**).

Табл. 4. Информационные технологии, изменяющие правила работы компаний

Прежнее правило	Новое правило	Технология
Информация может появляться в одном месте, в одно время	Информация может появляться и быть востребованной в любом месте, в любое время - когда это необходимо	Распределенные базы и хранилища данных, поисковые системы, технологии поиска заданных данных
Сложную работу по оценке ситуаций могут выполнять только эксперты	Работу эксперта может выполнять специалист общего профиля	Экспертные системы
Необходимо выбирать между централизацией и децентрализацией	Можно одновременно получать преимущества от сочетания двух форм организации управления и производства	Распределенная работа в группах, телекоммуникации и сети
Все решения принимают только высшие руководители и ответственные менеджеры	Принятие решений становится частью работы каждого сотрудника, отвечающего за свой участок работы	Средства поддержки принятия решений, доступ к базам и хранилищам знаний, системы знания
Для поиска, получения, анализа, хранения и передачи информации требуются специально оборудованные помещения	Специалисты могут посылать и получать информацию из того места, где они находятся	Интернет/Инtranет-технологии, оптоволоконные и спутниковые системы связи, мобильные системы
Лучший контакт с покупателем - личный контакт	Лучший контакт с потенциальным покупателем - эффективное изучение особенностей покупателя	Интерактивное взаимодействие, базы данных, системы опроса и выявления предпочтений
Для того чтобы найти некую сущность, нужно знать, где она находится	Сущности сами говорят вам, где они находятся	Системы поиска. Мобильные агентные системы
Сверстанные планы не пересматриваются или пересматриваются под давлением форс-мажора	Планы пересматриваются и корректируются оперативно, по мере необходимости и адекватно требованиям потребителя	Экспертные системы, системы гибкого планирования и управления рисками, высокопроизводительные ЭВМ

ИТ-отделы в фирмах и корпорациях стали выдвигаться на первые роли. Этому способствовали три фактора, которые в полной мере проявились в 1990-е годы: потребности бизнеса стали оказывать все большее давление на аналитические отделы и отделы ИТ с целью увеличения их вклада в общий результат деятельности компании; компьютерная парадигма вычислительных работ, ориентированная на большие ЭВМ и мощные вычислительные центры с огромным персоналом, изживает себя и заменяется новой парадигмой - распределенными вычислениями (сети и кластеры), что, в свою очередь, приводит к созданию новых ИТ; переориентация с технологии на потребителя привела к необходимости психологической перестройки менеджера и к формированию новой дисциплины - стратегического планирования развития корпоративных ИТ для совмещения стратегии бизнеса и информационной стратегии. В результате этого изменились сами составляющие бизнеса (Табл.5).

Табл.5. Изменение бизнеса, вызванные появлением информационных технологий.

Динамика развития бизнеса	Ускорила
Стратегическое планирование и тактические цели	Увеличилась дальность и точность прогноза
Оперативный простор	Расширилась область применения
Управление рисками	Моделирование и оптимизация ситуации
Гибкость управления	Быстрое маневрирование ресурсами
Конкурентоспособность	Распространение имеющегося превосходства на весь бизнес

Внедрение информационных технологий в бизнес заставляет пересмотреть традиционный ответ на вопрос «В чем основная цель информационных технологий?». Прежний ответ - «Повышение производительности труда, экономия финансов, поиск новых форм взаимодействия» - относится в настоящее время к способам достижения оперативных и тактических преимуществ. Стратегическая роль ИТ в современном мире - способствовать менеджменту, адекватно реагировать на динамику рынка, создавать, поддерживать и углублять конкурентное преимущество с целью извлечения максимальной выгоды!

Современное состояние ИТ можно охарактеризовать следующими положениями: наличие большого количества программно-аппаратных комплексов и платформ для эффективного управления и сопровождения производства, промышленно функционирующих баз данных и хранилищ знаний большого объема, содержащих информацию по всем направлениям деятельности общества; наличие технологий, обеспечивающих интерактивный доступ любого пользователя к информации и ресурсам - технической основой для этого служат открытые и корпоративные системы поиска информации (*IRS*), государственные и коммерческие системы связи, глобальные (*GNS*), национальные (*NNS*) и региональные (*RNS*) информационно-вычислительные сети; международные соглашения, стандарты и протоколы обмена данными; расширение функциональных возможностей ИТ, обеспечивающих распределенную работу баз и хранилищ данных с данными разнообразной структуры и содержания, мультиобъектных документов, гиперсред; создание локальных и интегрированных проблемно-ориентированных информационных систем (*ИС*) различного назначения на основе мощных серверов и локально-вычислительных сетей; включение в *ИС* специализированных интерфейсов пользователя для взаимодействия с экспертными системами (*ES*), систем поддержки принятия решения (*DSS*), системы поддержки исполнения (*ESS*), системы машинного перевода (*TCS*) и др.

В развитии ИТ можно выделить пять основных тенденций.

1. Глобализация. Компании могут с помощью ИТ вести дела на мировом рынке, где угодно, немедленно получая исчерпывающую информацию. Происходит интернационализация программных средств и рынка информационного продукта. Получение преимуществ за счёт постоянного распределения информационных расходов на более широкий географический регион становится необходимым элементом стратегии.
2. Конвергенция. Стираются различия между промышленными изделиями и услугами, информационным продуктом и средствами его получения, их профессиональным и бытовым использованием. Передача и прием цифровых, звуковых и видеосигналов объединяются в одних устройствах и системах.
3. Усложнение информационных продуктов и услуг. Информационный продукт в виде программно-аппаратных средств, баз и хранилищ данных, служб эксплуатации и экспертного обеспечения имеет тенденцию к постоянному развитию и усложнению. В то же время интерфейсная часть ИТ при всей сложности решаемых задач постоянно упрощается, делая все более комфортным интерактивное взаимодействие пользователя и системы.

4. Способность к взаимодействию. Проблемы оптимального обмена данными между компьютерными информационными системами, между системой и пользователями, проблемы обработки и передачи данных и формирование требуемой информации приобрели статус ведущих технологических проблем. Современные программно-аппаратные средства и протоколы обмена данными позволяют решать их во все более полном объеме.

5. Ликвидация промежуточных звеньев. Развитие способности к взаимодействию однозначно ведет к упрощению доставки информационного продукта к потребителю. Становится ненужной цепочка посредников, если есть возможность размещать заказы и получать требуемое непосредственно с помощью ИТ.

Применительно к бизнесу это означает следующее: осуществление распределенной обработки данных, когда на рабочем месте достаточно ресурсов для получения и анализа информации; создание развитых систем коммуникации, когда рабочие места объединены для максимально быстрой пересылки сообщений; устранение помех в системе интеграции «организация - внешняя среда», прямой доступ в мировые информационные потоки; создание и развитие систем электронных заказов и торговли; поддержка социальных сетей.

1.3 Интернет-технологии в бизнесе

В недавнем прошлом основным режимом использования Интернет являлся режим электронной почты. Электронная почта - это абсолютно необходимое средство коммуникации, однако в ряде важных случаев оно не является достаточным: обмен информацией происходит слишком долго. Сейчас в мировом масштабе происходит скачкообразный переход на новые технологии телекоммуникаций, сопровождающийся резким увеличением пропускной способности каналов и таким же резким снижением стоимости их использования. Естественно, это привлекает бизнесменов (оперативный доступ к информации является очевидным требованием бизнеса).



Рис. 3. Модель информационной гиперсреды.

При использовании Интернет в режиме *On-Line* потенциально доступны многие программные сервисные средства, обеспечивающие подключение к серверу в режиме удаленного терминала (*Telnet*), перекачку файлов (*Ftp*), поиск необходимых информационных ресурсов и т. д. Особенно важен тот факт, что потенциально любой пользователь, подключенный к Интернет в режиме *On-Line* и обладающий так называемым *IP*-адресом, может создать свой собственный *WWW*-сервер, наполнив его актуальной информацией. Это открывает широкие возможности для бизнеса (реклама, каталоги и прайс-листы товаров и услуг, возможность дистанционных заказов и т. д.). Таким образом, не только информационная среда влияет на пользователя, но сам пользователь становится активным участником изменения среды (Рис.3). Многие коммерческие организации ранее мало использовали Интернет-технологии из-за отсутствия безопасности информации при её передаче по сети. Поэтому многие компании, отделения которых располагаются в разных точках земного шара, поддерживали собственные корпоративные глобальные сети с гарантированной безопасностью. Такие сети обходятся гораздо дороже, чем Интернет. Потом появились средства, обеспечивающие безопасность информации и при использовании Интернет. Например, компания *Sun Microsystems* выпустила продукт *SunScreen*, основанный на использовании методов криптографии на уровне передачи фрагментов сообщения, что позволило на базе *SunScreen* создать защищенную корпоративную подсеть внутри Интернет.

На современном этапе развития электронных средств бизнеса можно выделить два основных направления использования Интернет в бизнесе (это технологии Интернет для бизнеса) и бизнес в Интернет-пространстве.

Первый подход используется с момента зарождения Интернет. Любой компании необходимы информационное сопровождение своих бизнес-процессов, а также информационное взаимодействие в режиме *online* с внешней средой: филиалами в других городах и странах, клиентами, поставщиками - надежное и желательно недорогое. Те компании, которые первыми стали использовать электронную почту и телеконференции, получили преимущество - развитые технологии позволяют практически мгновенно обмениваться качественной мультимедиа-информацией. Компании стали обзаводиться информационными витринами (сайтами), а многопрофильные компании и корпорации - информационными порталами (*EIP*),

которые не только представили «лицо» компании в бизнесе, но и превратились в мощный инструмент управления бизнесом. Информационный портал представляет собой системную многоуровневую совокупность различных информационных ресурсов и сервисов организации, интегрирующую различные источники данных и отдельные функциональные системы, с единой точкой входа и унифицированными правилами представления и обработки информации. С технологической точки зрения портал - сервер приложений, который может запускать стандартные компоненты и гарантирует надежность и масштабируемость системы, а также берёт на себя вопросы контроля прав доступа. С точки зрения визуализации это отображающая часть информационной системы, обеспечивающая пользователей единым авторизованным персонифицированным доступом к внутренним и внешним информационным ресурсам и бизнес-приложениям. С точки зрения реализации основной деятельности это новая концепция организации рабочих мест сотрудников с доступом ко всей информации, необходимой для выполнения ими предписанных функций. С точки зрения управления организацией - интегрированная система управления распределенными информационными ресурсами и система информационного сопровождения всей деятельности организации. Портал строится на базе *Web*-технологий, в его основе лежит ядро, обеспечивающее работу всех сервисов и интеграцию данных и приложений. Пользовательские функции реализуются посредством специализированных программных модулей - портлетов.

Создание и эффективное использование *Web*-порталов открывает принципиально новые возможности для использования Internet-технологий в бизнесе, позволяя: оперативно размещать и развивать информационные ресурсы организации; ускорить доступ к информации по тематике портала - в любой момент, в любой точке нахождения и для любого заинтересованного пользователя; повысить информативность лиц, занимающихся подготовкой принятия решения; формировать "клуб друзей организации" - заинтересовывать потенциальных заказчиков и клиентов качественными продуктами и услугами, системами скидок и бонусов, аккумулировать дополнительные финансовые ресурсы за счет привлекательных инвестиционных проектов и более активного использования информационных ресурсов организации широким кругом внешних пользователей; оптимизировать рекламный бюджет и ИТ-расходы организации (за счет организации *Web*-сервисов коллективного пользования); интегрировать информационные ресурсы организации с ресурсами поставщиков, партнеров по бизнесу, мировыми информационными ресурсами; повысить качество управления процессами, информационной безопасностью и деятельностью организации в целом.

Перечислим некоторые преимущества, которые даёт Интернет для бизнеса.

Низкие затраты. Применение Internet-технологий для небольших и средних компаний существенно снижает затраты на создание, и главное - на эксплуатацию собственной распределенной корпоративной сети.

Открытость. Сетевые технологии являются полностью открытыми, потому что они основаны на стандартизированных и доступных каждому пользователю протоколах и форматах. Большое количество разработчиков прикладных пакетов осуществляет поддержку технологий в открытой среде. В связи с этим на рынке специализированного программного обеспечения достаточно много продуктов, что обеспечивает доступность и хороший выбор.

Устойчивость. Существует два критических фактора для успеха тех или иных технологий на рынке - надежность и масштабируемость. *Internet/Intranet*-технологии на сегодняшний день являются испытанными и надежными, так как эти технологии развиваются в течение длительного периода и используются миллионами людей во многих странах мира.

Доступ к максимально широкой аудитории. Создав свою «виртуальную витрину» в *World Wide Web*, коммерческое предприятие получает доступ к любому заинтересованному пользователю и может напрямую взаимодействовать с потенциальными покупателями, предоставляя возможность полностью осуществить принцип «в любом месте в любое время».

Снижение расходов на маркетинг и поддержку. Значительно уменьшаются расходы на рекламу, так как компания может размещать её на собственном сайте в любых разумных количествах. Электронное распространение и поиск нужной информации обходится дешевле, чем на бумажных носителях. При этом скорость распространения несравнимо выше. Электронную информацию можно постоянно обновлять, причём в автоматическом режиме. Всемирное распространение WWW открывает доступ в любой уголок Земли, что в сочетании с технологиями электронной коммерции открывает путь на недостижимые до этого рынки.

Эффективное обеспечение работы компаний с распределенным производством. Многие компании имеют филиалы и подразделения в других районах и других странах, где имеется избыток дешёвой рабочей силы и других

ресурсов. Информационные системы, включающие средства Интернет, позволяют осуществлять эффективное руководство разветвленными сетями производства и сбыта в режиме *online*.

Экономичное представление сотрудникам корпоративной и конфиденциальной информации. Внутрикorporативные пространства *Intranet* с успехом используются как централизованные хранилища документов, с которыми постоянно работают сотрудники компании или с которыми руководство считает нужным их ознакомить. *Intranet* экономит время, устраняет необходимость изготовления и распространения печатных документов. Каждый сотрудник может обращаться к огромным массивам данных вне зависимости от того, где он находится и какую платформу он задействует.

Темпы развития Интернет чрезвычайно высоки. Все большее количество предприятий используют *Internet/Intranet*- технологии. В частном секторе все больше абонентов подключаются к Сети, применяя для подключения такие скоростные технологии, как кабельные модемы, линии *XDSL* и *DSL*, гибридные спутниковые системы.

Второй подход (Бизнес в Интернет) основан на понимании того, что современный Интернет является сложившимся информационным виртуальным пространством, которое доступно любому пользователю Сети в любое время в любой точке Земли. Любой полноценный клиент Интернет может автоматически стать частью этого виртуального мира, создав и предоставив другим пользователям новую информацию.

Новейшие концепции и средства Интернет активно применяются при решении классических вопросов бизнеса: «Что делать?», «Где взять для этого средства?», «Кто есть кто?», «У кого купить и кому продать?», «Как это сделать, чтобы извлечь максимальную выгоду?». Очень существенны перспективы использования Интернет в банковском деле, в проведении маркетинга, при оказании услуг, при продажах, рекламе, аналитическом исследовании рынка, общении с поставщиками и заказчиками. Особая статья - отслеживание деятельности конкурентов и защита своей жизненно важной информации. Для этого, конечно, особенно важны средства повышения безопасности информации в Сети. Интерактивный характер взаимодействий в Интернет позволяет предоставлять виртуальные, но реально доступные услуги: сетевые библиотеки, видеотеки, конференции, магазины и т. д. Это позволяет пользователям, не выходя из офиса или дома, делать покупки в Интернет-магазинах, оплачивать услуги, играть на бирже, получать образование, повышать культурный уровень.

В настоящее время сформировались два понятия - электронный бизнес и электронная коммерция, которые при всем внешнем сходстве имеют существенные различия.

Электронный бизнес (*e-Business*) означает осуществление и автоматизацию бизнес-процессов, а также повышение эффективности деятельности предприятия за счёт повсеместного применения достижений из области *Web*-технологий. При этом фокус деловой активности перемещается на максимальное использование преимуществ внутренних и внешних связей компании в глобальных информационных сетях. В электронном бизнесе можно выделить четыре слоя: инфраструктура, услуги, информационные посредники, электронная коммерция. Инфраструктура реализуется телекомму-никационными компаниями и производителями программного обеспечения, компьютерного и сетевого оборудования. Услуги предоставляются сервис-провайдерами, обеспечивающими транзакции в сети, и владельцами каналов связи. Инфраструктура услуг посредников включает службы, консультационные и обслуживающие компании, обеспечивающие создание *Web*-страниц и управление их содержанием (*CMS*), поисковые машины, базы данных и мультимедиа-применения.

Электронная коммерция (*e-Commerce*) - важнейшая составная часть электронного бизнеса. Это вид бизнеса, при котором взаимодействия (транзакции) между участниками коммерческих сделок происходят с помощью информационных технологий (электронные платежи, электронная цифровая подпись и пр.) или посредством Интернет.

1.4 Электронная коммерция

Электронная коммерция, по сути, появилась раньше своего термина - в 1960-е годы, в эпоху *Mainframe-based* приложений. Одними из первых таких приложений были сервисные компьютерные программы для транспорта: заказ билетов, обмен данными между различными транспортными службами, подготовка и согласование маршрутов движения судов и самолетов. Бурный рост сетей Интернет в 1990-е годы, связанный с появлением *Web*-технологий, заставил многих представителей бизнеса обратить внимание на его возможности. Появился новый тип бизнеса - розничная торговля через Интернет. В 1997 появился стандарт «*Open Buying on the Internet*» (*OBI*). В нем излагались принципы, которым должно соответствовать программное обеспечение для электронной коммерции, поддерживающее открытые Интернет-стандарты. Стандарт *OBI* затрагивает большой класс вопросов стандартизации всех форм взаимодействия между организациями, вовлеченными в полный цикл «Поставки - Продажи - Покупки» («*Supply - Selling - Buying*»). В электронную коммерцию (*e-Commerce*) вовлекается всё больше продавцов и покупателей. Обороты онлайн-торговли исчисляются миллиардами долларов.

Электронная коммерция обладает рядом преимуществ: большая открытость компании по отношению к клиентам, взаимодействие с клиентами направлено на установление долгосрочных взаимоотношений (*CRM*); значительное увеличение оперативности получения информации для принятия решений - особенно при сложных торговых сделках с участием нескольких компаний; значительное сокращение цикла

маркетинга и продаж, появление возможности пред- и послепродажной поддержки продукта - в особой степени это относится к программному; электронная оплата сделок с использованием электронных платежных систем; возможность организации виртуальных предприятий - группы отдельных специалистов или компаний для ведения совместной коммерческой деятельности; осуществление бизнес-процессов, совместно управляемых компанией и её торговыми партнерами; значительное снижение затрат, связанных с обменом информацией, за счёт использования более дешевых средств коммуникаций; возможность создавать альтернативные каналы продаж, например через электронный магазин на корпоративном портале; факты и частота совершения торговых операций могут быть объективно измерены провайдером и подтверждены независимыми аудиторами; распространение права собственности на нематериальные активы, например, пакеты информации в электронном виде; на рынке имеется достаточно много недорогих программных пакетов для осуществления коммерческой деятельности в Интернет.

К недостаткам можно отнести необходимость приобретения специализированных программно-аппаратных средств, осуществления повышенных мер безопасности информации, необходимость работы через Интернет-посредников (провайдеров), возможность потери критически важной для бизнеса информации.

Согласно стандарту *OBI*, электронной коммерцией считалось взаимодействие между бизнес-организациями посредством электронных технологий и Интернет. Сейчас это только один из секторов рынка электронной коммерции, который называется «Бизнес – бизнес». Электронную коммерцию в настоящее время принято разделять на несколько направлений, основными из которых считаются: «Бизнес – Бизнес» (B2B); «Бизнес – Потребитель» (B2C); «Потребитель – Бизнес» (C2B); «Потребитель – Потребитель» (C2C). Рассматриваются также взаимоотношения бизнеса и потребителей с государственными и иными регулирующими органами: «бизнес - государственные органы» (B2G), «потребитель - государственные органы» (C2G). Можно выстраивать более сложные цепочки, например, «производитель электронного товара/услуги для государственного органа по социальному заказу - деятельность Интернет-провайдера - государственный орган – потребитель» (B2B2G2C) и т. д. Сектор B2B ранее определяли как межкорпоративное взаимодействие в системе «предприятие-предприятие» с использованием стандартов электронного обмена данными для осуществления передачи деловой информации. Изначально этим термином обозначались процессы купли-продажи товаров и услуг между предприятиями в режиме *online*. В настоящее время B2B понимается как любой процесс взаимодействия между предприятиями или подразделениями одного предприятия для решения бизнес-задач, который может быть реализован с применением информационных технологий и через Интернет. Полем деятельности участников этого сектора являются виртуальные B2B-площадки (Рис.4).



Рис. 4. Виртуальные B2B-площадки.

Такие площадки принято делить на три типа в зависимости от того, кем она создается: поставщиками, или продавцами; покупателями; третьей стороной. Возникновение тех или иных видов торговых площадок зависит от степени влияния покупателей и продавцов в данной области экономики.

Площадки Supplier-driven. Крупные продавцы играют активную роль в формировании торговых площадок. Это происходит по разным причинам. Одни компании хотят привлечь как можно больше оптовых покупателей, другие - снизить затраты на продажи, третьи - иметь возможность объединиться с партнерами и диктовать свои условия на рынке. В России такие площадки организуются в сырьевой и обрабатывающей промышленности, в тяжелом машиностроении, в сельскохозяйственной отрасли, предприятиями энергетики и производителями продуктов питания.

Площадки Buyer-driven. Одна или несколько крупных компаний создают свою торговую площадку для привлечения

компаний-поставщиков. Концепция таких торговых площадок возникла в связи с потребностями крупных компаний в оптимизации процесса закупок, расширении торговых контактов и сети поставок по оптовым ценам.

Площадки Third-party-driven. Такие площадки создаются, обслуживаются и управляются третьей стороной для того, чтобы свести вместе покупателей и продавцов. Обычно такие площадки создаются теми, кто хорошо ориентируется в том или ином секторе бизнеса, и служат для получения дохода в виде процента от совершенных сделок. Примерами таких площадок могут быть электронные биржи и аукционы (*B2B*). При формировании площадок *B2B* необходимо учитывать ряд важных аспектов: доступность для новых участников; поддержка признанных стандартов разработки (EDI, Web-формы, XML-приложения); масштабируемость используемых платформ; возможность управления информацией и применения аналитических методов обработки; возможность интеграции инструментов электронной коммерции; обеспечение информационной безопасности.

В зависимости от конкретного типа площадки делают акцент на те или иные характеристики и разрабатывают соответствующие инструменты для поставщиков либо для потребителей. Сектор *B2C* - форма электронной коммерции, целью которой являются прямые продажи для потребителя. Такая форма торговли эффективна для устранения географической удаленности между крупными городами и регионами в смысле доступности товаров и услуг для потребителя. *B2C* позволяет вести прямые продажи с минимальным количеством посредников. Устранение посредников дает возможность устанавливать конкурентные цены на местах и даже увеличивать их (исключая процент посредников), что естественно приводит к росту прибыли.

К системам *B2C* относятся: *Web*-витрины (*Front Office*) торговых компаний для привлечения возможных покупателей к продуктам данных компаний; Интернет-магазины, которые занимаются только продажей товаров и содержат необходимую инфраструктуру (*Back Office*) для производства продаж и управления электронной торговлей через Интернет; торговые Интернет-компании, в которых система электронных продаж (*Back Office*) полностью интегрирована со всеми торговыми бизнес-процессами.

Для полноценного функционирования Интернет-магазина необходимы следующие обязательные компоненты: *Web*-сервер, производящий разграничение доступа и распределяющий запросы; сервер приложений, управляющий бизнес-логикой и реализующий необходимую совокупность процессов; БД и СУБД для сбора, хранения, обработки и управления данными; система электронных платежей, включающая электронную цифровую подпись.

Структура управления Интернет-магазином реализуется в виде трёхзвенной архитектуры «клиент - сервер приложений - сервер базы данных». Для интеграции Интернет-магазина с бизнес-процессами основной компании может быть установлен шлюз-конвертор, который будет передавать данные от магазина в бухгалтерскую систему и систему документационного обеспечения компании.

Сектор *C2B*. *C2B* - форма электронной коммерции, которая предоставляет потребителю возможность самостоятельно устанавливать цену на различные товары и услуги, предлагаемые компаниями. Таким способом формируется спрос, который, однако, не означает, что совершится продажа по запрошенной цене. Продавец, пользуясь статистическими данными текущего спроса, принимает окончательное решение, и после этого товар выпускается в продажу по усредненной цене. *C2B* - совокупность методов, инструментов и технологий для выполнения онлайн-овых транзакций между потребителями (физическими лицами или небольшими объединениями частных предпринимателей) и предприятиями. Примером являются сайты бизнес-консультантов, юристов, промоутеров, профитеров (специалистов по оптимизации деятельности предприятий), аудиторов, рекламных агентов и других специалистов, способных оказывать услуги предприятиям.

Сектор *C2C*. Форма электронной торговли, суть которой состоит в организации купли-продажи товаров и услуг между потребителями. В этом случае персональный сайт физического лица или специализированный сайт, имеющий раздел бесплатных объявлений, выступает в роли посредника между покупателем и продавцом. Сделка может быть совершена как непосредственно через Интернет, если обе стороны имеют платежные инструменты, так и наличными деньгами при согласовании всех вопросов с применением Интернета. В качестве примера можно привести ресурс www.molotok.ru - один из ведущих российских аукционов, где каждый желающий может что-либо продать или купить.

Сумма всех четырёх секторов электронной коммерции «*B2B + B2C + C2B + C2C*» является её обобщенным социальным ресурсом. Электронный бизнес в настоящее время насчитывает много разновидностей, определяемых конкретными задачами бизнеса и применяемыми информационными технологиями. Это - торговые Интернет-системы, Интернет-биржи и аукционы, электронные платежи, кредитные и дебетовые системы, электронные чеки и деньги, Интернет-страхование, аренда *Web*-сервисов, подбор персонала, лингвистические услуги и многое другое. В зависимости от сфокусированности контента ресурс «*B2B + B2C + C2B + C2C*» реализует компоненты электронного бизнеса переходного периода - от постиндустриального общества к информационному.

Мобильная коммерция (*m-Commerce*) - перевод электронной коммерции в мобильные формы. Мобильная коммерция делает пользователя независимым, не привязывая его к стационарному компьютеру или серверу. Она предоставляет все возможности *e-Commerce*, при наличии у пользователя мобильных устройств для получения и передачи информации, выхода в Интернет и совершения транзакций. Основу мобильной коммерции составляют протоколы *WAP* и *GPRS*, позволяющие выходить в Сеть, скачивать информацию, просматривать её на мини-дисплее и совершать операции электронной коммерции. Мобильная коммерция развивается быстрыми темпами. Например,

мобильный телефон с функцией *WAP* или собственным микробраузером, выполняет функции банковской кредитной карты, позволяет выходить в мировую сеть, делать заказы билетов, производить коммерческие операции и т. д.

Развитие Всемирной сети и взаимодействие региональных сетей приведёт к полному преобразованию бизнеса. Конечно, люди всегда останутся людьми, а бизнес - бизнесом, но новый *WWW*-бизнес станет более выгодным и более удобным для людей.

1.5 Информационная культура

Существует несколько видов информационной культуры.

Первая - это функциональная культура, когда информацию используют для влияния на других. Эта культура в наибольшей степени присуща компаниям с жесткой иерархией, где информация служит прежде всего для управления и контроля. Характерным для этой культуры информационным поведением является контроль. Здесь этот термин используется не в отрицательном смысле, а просто как обозначение необходимой для компании деятельности. Многие деловые процессы используются для контроля во всех областях - от бухгалтерского учета до снабжения. Вопрос в том, является ли контроль положительной характеристикой культуры корпорации или он культивирует негибкость и подозрительность. Но это уже проблема общей корпоративной культуры.

Во второй разновидности - культуре взаимодействия - менеджеры и специалисты в достаточной степени доверяют друг другу и потому могут обмениваться информацией, важной для совершенствования процессов и роста эффективности. Прямой обмен информацией о возможных срывах и провалах необходим для устранения проблем и адаптации к изменениям. Правда, есть немало компаний, которые внедряют программы «Всеобщего управления качеством» (*TQM*) и которые одновременно с этим наказывают служащих и менеджеров, решившихся заговорить о недостатках и ошибках. Но есть и компании, например *Boss Corporation*, где такая информация рассматривается как необходимое условие успеха. Руководители компании полагают, что, доводя такую информацию до своих служб и рабочих групп, до потребителей и поставщиков, компания помогает устранению проблем и совершенствованию производства.

Функциональная культура	Менеджеры используют информацию, чтобы управлять подчиненными или влиять на них
Культура взаимодействия	Менеджеры и служащие доверяют друг другу и делятся информацией (особенно о наличии проблем и неудач), чтобы повысить собственную эффективность
Культура исследования	Менеджеры и служащие ищут информацию, чтобы лучше понимать будущее и то, как изменить собственную деятельность и приспособиться к будущим тенденциям
Культура открытости	Менеджеры и служащие открыты для нового понимания природы кризисов и радикальных перемен и ищут способы прорыва к конкурентоспособности

Рис. 5. Виды информационной культуры

В культуре исследования менеджеры и служащие стремятся к пониманию будущих тенденций и поиску лучшего способа отразить возможную угрозу внезапного изменения спроса или появления конкурентов. Здесь господствующим информационным поведением является предвидение. В таких компаниях существуют анклав исследовательской культуры в службах, связанных с обслуживанием клиентов, с исследованиями рынка, с технологическими исследованиями и разработками и со сбором

информации. Для некоторых отраслей, таких как производство полупроводников и разработка программного обеспечения, эта культура является необходимым условием выживания, потому что смена технологий в производстве полупроводников происходит примерно каждые 18 месяцев, в разработке программного обеспечения - каждые 6-8 месяцев, а инвестиции на создание нового производства огромны - от 1,5 до 2 млрд долларов в год.

И, наконец, четвертый вид - культура открытости. Здесь служащие и менеджеры открыты для нового понимания природы кризисов и радикальных перемен. Эти компании сознательно отбрасывают старые подходы к бизнесу, чтобы освободиться для поиска новых перспектив и идей, обещающих создание новых продуктов и услуг, которые могли бы изменить условия конкуренции поверх рыночных ниш и отраслей производства.

Корпорация *Microsoft* одновременно конкурирует на рынках программных приложений, онлайн-информации, развлечений и продажи видеопродукции, чем радикально изменяет традиционное представление о производителе программного обеспечения. Компания не просто предвидит изменения или адаптируется к ним, но перекраивает саму базу конкуренции в самых разных отраслях. Немало компаний обладают анклавами культуры открытости, где собирают и обрабатывают информацию, разрабатывают новые продукты и сценарии развития



бизнеса, добиваются партнерских отношений с потребителями и поставщиками. Но есть только считанное число таких компаний, как Microsoft, которые сделали культуру открытости неотъемлемой частью своей стратегии.

Стратегия построения информационного управления и использования ИТ предполагает оптимальное сочетание всех четырех культур. Каждый руководитель должен решить для себя, какой стиль и какая культура управления обеспечат компании успех. При этом очень важно трезво смотреть на положение дел, чтобы не впасть в одну из форм дисфункционального информационного поведения (DIC) (Рис. 6).

Рис. 6. Типы дисфункционального поведения

Усиление контроля - в зацикленных на контроле компаниях менеджеры при возникновении новых проблем не ищут новую информацию, а используют и усиливают прежние методы контроля. Например, на затухающем рынке руководители корпорации требуют более детального производственного и финансового учёта и отчётности, тогда как на деле причиной упадка может быть то, что разбегаются неудовлетворенные клиенты, или продукция устарела, или на рынке объявились новые производители с новым продуктом.

Поведенческая регрессия - при столкновении с новыми проблемами менеджеры обращаются к второстепенной информации, никоим образом не отражающей суть происходящих изменений. Развивается кипучая деятельность вокруг мелких текущих вопросов, решение же по главным проблемам остаётся в стороне - может быть, все устроится само собой или эти проблемы решит кто-нибудь другой.

Интеллектуальный паралич - менеджер утрачивает способность изменять свой подход к бизнесу или к предвидению изменений. Длительный успех компании делают компанию слепой к новой продукции и новым конкурентам. Руководство компании прекрасно знало о появлении конкурирующей продукции, которая подрывала ее рынки, но уже не могло осознать значение этой угрожающей информации.

Реактивное поведение - в ситуации глубокого отраслевого кризиса менеджер «молниеносно» предлагает один план действий за другим, ещё не рассудив, поможет ли это делу или, напротив, повредит. Он идёт «на поводу» у ситуации, а не руководит ею. Компанию начинает лихорадить, а это никому ещё не помогало справиться с надвигающейся бедой.

Таким образом, при оценке общей ситуации руководство компании должно ответить, по крайней мере, на два важнейших и обязательных вопроса: С какими типами информационного поведения и информационной культуры нам приходилось сталкиваться в нашей деятельности? Насколько хорошо в нашей компании увязаны информационная культура и стратегия изменений?

Сегодня одной из главных задач топ-менеджеров является увязывание информационной культуры и корпоративного поведения со стратегиями изменения в управлении и производстве.

Для этого следует определить, какие типы информационного поведения нужно поощрять и культивировать в сложившейся ситуации, чтобы иметь возможность справляться с разными уровнями сложности и неопределенности рынков и отраслей производства (Рис.7 и Табл. 6).

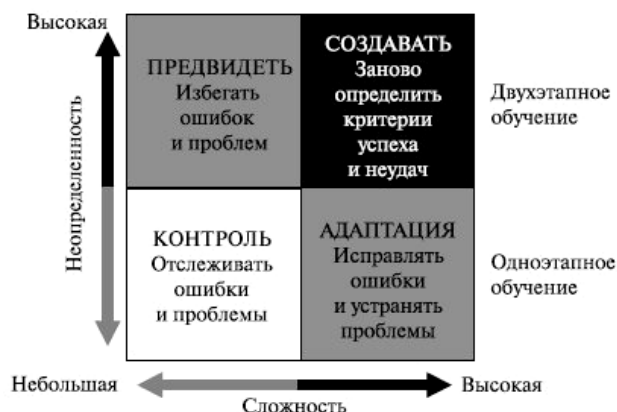


Рис. 7. Влияние сложности и неопределенности ситуации на информационное поведение.

Для предпринимательских компаний, учреждающих новые «рисковые» (венчурные) предприятия или проекты, характерна культура открытости для новизны. По прошествии нескольких лет, когда на рынке появляются крупные или более солидные конкуренты, у них обычно созревает культура исследования. По мере того как новая продукция или услуги компании обретают популярность, для непрерывного устранения ошибок и проблем делается пригодной культура взаимодействия. Наконец, когда продукция компании вступает в фазу зрелости, развивается тяга к контролю, который ведёт к дальнейшему упадку. Это означает, что пришла пора заново определять, каков основной бизнес компании и в чем она лучше других.

Табл. 6. Неопределённости рынка.

Степень стабильности рынка	Тип информационного поведения
Рынок зрелый и стабильный, уровень неопределенности низок, степень сложности технологий и продукции невысоки	Контролирующее поведение вполне пригодно для отслеживания ошибок и устранения проблем
Степень неопределенности рынков невысока, а продукция и технологии достаточно сложны	Требуется взаимодействие, нацеленное на непрерывное исправление ошибок и устранение проблем с помощью усиленного контроля качества
Неопределенность рынка и отрасли достаточно велика, а продукция и технологии сравнительно просты. У компании есть неиспользованные заделы и разработки	Для ликвидации ошибок и проблем в ситуации, когда состав конкурентов меняется и очень вероятно появление новых, следует отдать предпочтение культуре исследования
Высоки как неопределенность рынков, так и сложность продукции и технологий, и необходимо новое понимание того, что есть успех и что - неудача	Когда темпы и масштаб изменений очень велики, установки на контроль, адаптацию и предвидение оказываются бесполезными. Помочь компании может культура открытости

В этой фазе компании следует придерживаться двойственной стратегии: управлять сложившимся производством и поощрять культуру открытости, которая должна привести к новым видам продукции и новым рынкам. Руководству компании следует знать, приносят ли должную отдачу используемые модели информационной культуры и информационного поведения. На свете мало настолько централизованных крупных компаний, чтобы их можно было целиком соотнести с какой-либо одной информационной культурой. Важно обеспечить некий баланс между разными информационными культурами, который бы соответствовал положению компании на рынке. Сегодня для динамичных компаний более характерны ориентация на предвидение и творчество, компания больше ориентируется на рынок и клиентов.

Что же нужно делать, чтобы обеспечить такой рациональный баланс? Во-первых, необходимо относиться к потокам информации, к базам и хранилищам знания как к «материальным» активам. Во-вторых, не следует впадать в иллюзию, что инфраструктура информационной системы, действующая в рамках определенной информационной культуры и поведения, сама собой разрешит эту проблему. Компьютеры, коммуникационные сети и программное обеспечение - это лишь технологии и инструменты, помогающие использовать знания и информацию для усиления конкурентных позиций. И чем мощнее эти инструменты, чем больше затраты на их приобретение, адаптацию и сопровождение, тем больше нужно думать о том, как работники компании их используют. В-третьих, ИТ-менеджеры, занятые сбором, обработкой и использованием информации, более чувствительны к тому, как представляют себе эту деятельность обычные менеджеры. Им легче опознать дисфункциональность информационного поведения управленцев, не согласующегося с заявленными целями компании или её установками и стилем. Руководители высоких рангов должны прислушиваться к мнению своих ИТ-заместителей и учитывать его при формировании стратегии компании. В-четвертых, компании, которые сумеют первыми в отрасли увязать свою информационную культуру и поведение с рыночными и производственными стратегиями, обретут несомненное конкурентное преимущество.

Руководителям компаний и менеджерам всех уровней следует относиться к информационной деятельности как к одной из важнейших для компании. Для успешного применения, разработки, внедрения, сопровождения ИТ, повышения уровня корпоративной информационной культуры и управления этой культурой им нужно ответить на несколько ключевых вопросов. Какие источники информации и знания дают их компании устойчивое конкурентное преимущество? Как организационные принципы и практика управления влияют на информационную культуру и поведение? Дают ли присущие компании совокупность и структура информационных культур и стилей поведения возможность успешного управления изменениями сегодня и в ближайшем будущем? Что следует изменить, чтобы установить соответствие между информационной культурой и поведением с одной стороны, и стратегиями изменения - с другой?

На высших руководителях лежит полная ответственность за решение этих ключевых для сохранения конкурентоспособности вопросов и проблем.

Требования к информационной культуре следует закладывать одновременно с требованиями к стратегии и тактике развития компании. В первые годы существования молодая компания в состоянии достаточно быстро организовать процедуры и приёмы ИТ/ИС управления в соответствии с нуждами стратегии, нанять новых менеджеров и ИТ-специалистов, способных действовать в рамках выбранной культуры, и сформировать инфраструктуру информационной системы, способную поддерживать желательное информационное поведение. Зрелой корпорации все это дается с большим трудом и с большими затратами!

Процесс перехода от индустриального общества к информационному путём насыщения политической, экономической и социальной деятельности современными информационными технологиями получил название информатизация. Информатизация в системе управления предприятием предполагает: создание правовых, экономических, технологических, социальных условий для того, чтобы необходимая для решения управленческих проблем информация была доступна в кратчайшие сроки, в любой точке, любому потенциальному пользователю; создание аппаратных и программных средств, телекоммуникационных систем, обеспечивающих формирование информационных ресурсов и доступ к ним, включая хранение, переработку, преобразование и передачу информации и знаний; обеспечение первоочередного развития структур производства и воспроизводства информации и знаний; разработку и реализацию организационно-методологических основ и программ последовательного, целенаправленного и эффективного внедрения информационных технологий в систему управления организацией.

Капиталовложения в ИТ влекут за собой многочисленные последствия. С одной стороны, они открывают определенные перспективы, а с другой - могут лишить предприятие возможностей в будущем из-за зависимостей, связанных с быстрыми технологическими изменениями и «привязки» к какой-либо одной технологии или определенному поставщику. Поэтому решения о капиталовложениях в ИТ не должны приниматься, пока не будут оценены риски применения тех или иных компьютерных и телекоммуникационных средств и не будет получена профессиональная консультация, по какому пути пойдет развитие следующего поколения технологии. При планировании капиталовложений в ИТ необходимо в обязательном порядке «держать в уме» конечную цель их приобретения и развертывания - насколько ИТ будут способствовать реализации бизнес-стратегии предприятия.

Естественно, что новая технология повышает производительность, помогает фирме добиться лучших хозяйственных результатов. Наряду с этим менеджеры должны знать о том, как мыслят и как работают люди, использующие новую технологию. Фирмы, которым это удастся лучше, могут надеяться на большую отдачу от средств, вложенных в ИТ. Изготовители информационной техники и интеграционные команды должны научиться делать предложения не только в узкоспециальных терминах. На переговорах партнер будет ставить вопросы, имеющие принципиальное значение для высшего менеджмента в его компании. Здесь важно, чтобы обе стороны вышли на новый переговорный уровень, когда стороны говорили бы на одном языке. Речь в этом случае идет скорее не о качестве техники, а о качестве услуг в сфере ИТ. Техника, разумеется, должна хорошо работать, быть на высоком уровне. Вместе с тем её изготовитель должен почувствовать себя на месте менеджера, который с помощью ИТ стремится добиться конкурентных преимуществ. «Чистый продавец» в системе сбыта ИТ уходит в прошлое. Аналогичная ситуация должна складываться и на самом предприятии, особенно когда речь идет о многопрофильном производстве или оказании разнообразных услуг. Умение ИТ-менеджера находить общий язык с менеджерами подразделений должно перестать быть искусством одиночек, а превратиться в повседневную практику.

Новые информационные технологии и реализованные на их основе информационные системы являются мощным инструментом для организационных изменений, которые «вынуждают» предприятия перепроектировать свою структуру, область деятельности, коммуникации, ресурсы, т.е. провести полный реинжиниринг бизнес-процессов для достижения новых стратегических целей.

2. ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЫНОК

Информационный рынок - система экономических, правовых и организационных отношений по торговле информационными технологиями, информационными продуктами и услугами.

Рынок - наиболее эффективный инструмент развития экономики, основной особенностью которого выступает способность к саморегулированию, поскольку независимые производители, учитывая спрос потребителей, решают, что и сколько производить. В основе эффективного функционирования рынка лежит конкуренция, которая является основным мотивом, побуждающим предприятие к борьбе за место на рынке. В результате рынок, где встречается потребитель и производитель, стремится к уравниванию спроса и предложения товаров.

Рынок информационных ресурсов и услуг - совокупность экономических, правовых и организационных отношений по торговле между поставщиками и потребителями, которая характеризуется определённой номенклатурой ресурсов и услуг, условиями и механизмами их предоставления и ценами.

Информационная деятельность выделилась из научной деятельности и деятельности по политическому и хозяйственному управлению как одно из направлений разделения интеллектуального труда и специализации в нематериальной сфере для выполнения части рутинных функций ещё в доэкономическую эпоху. Первым специализированным информационным органом стали государственные и академические библиотеки - хранилища

знания в виде документов, в основном, рукописных книг. С этого времени существенная часть информационной деятельности стала государственной и финансировалась из бюджета. Первыми тематическими областями информационной деятельности стали области научной и технической, правовой и социальной информации; другими словами, рынок информационных ресурсов формировался как рынок информации для специалистов.

Первыми видами информационных услуг стали услуги хранения информации - документов в виде рукописей и рукописных книг, а также её поиска - авторские и систематические каталоги библиотек, облегчающие поиск необходимой информации. В это время возникли и такие виды информационных услуг как копирование документов и их фрагментов, а также подготовка обзорной, аналитической информации по заданной теме, осуществлявшаяся работниками библиотек. Появление новой информационной технологии - книгопечатания и переход общества на индустриальную стадию не изменили состава участников информационной деятельности. Вместе с тем, число библиотек, как и число их читателей, увеличилось, а среди потребителей информации росла доля представителей бизнеса. Библиотеки, работающие бесплатно при финансировании из государственного бюджета как одно из направлений народного образования и роста культуры, привели к использованию информационных ресурсов и массового потребителя, заинтересованного в доступе к информации для специалистов в целях самосовершенствования. В таком виде информационная деятельность пребывала до середины XIX в., когда, в связи с резко возросшим темпом прироста знаний и информации в отдельных областях и, прежде всего в химии и физике, появился первый реферативный журнал - информационный продукт, позволяющий получить представление о содержании документа, до обращения непосредственно к документу. Использование реферативного журнала (РЖ) позволяло пользователю быть в курсе изменения системы знаний при приемлемых затратах времени.

Прогресс в книгопечатании, подготовка специальных справочных изданий и энциклопедий, а также появление научных, деловых и массовых журналов, который является важным для развития информационного сектора общественного производства, не относится к изменениям в информационной деятельности, рассматриваемой в узком смысле, и рынке информационных ресурсов. Вместе с тем, книгоиздание привело к возникновению рынка книг и периодики, который, в свою очередь стал моделью для рынка информационных ресурсов. Кроме того, развитие книгопечатания в условиях усложнения общества и возрастания сложности общественных экономических и социальных отношений, которые фиксировались и находили отражение в документах, привело к тому, что книги и журналы отделились от других видов документов, которые, в свою очередь, стали храниться не в библиотеках, а в архивах, по своим функциям, устройству, услугам и продуктам и системе финансирования аналогичных библиотекам. РЖ составили основу рынка информационных ресурсов вплоть до начала 60-х гг. прошлого века, когда им на смену пришли базы данных. Именно РЖ, распространяемые с использованием механизма и инфраструктуры торговли периодики (цены, зависящие от объема - числа печатных листов, подписка при авансовой оплате, решающая вопросы оборотного капитала) заложили основы формирования сначала национальных рынков, а затем и международного рынка информационных ресурсов и услуг.

Вплоть до достижения индустриальным обществом определенного уровня развития, когда информация ещё не влияла непосредственно на производительность общественного труда, существенная часть деловой и коммерческой информации поступала в общественное производство хотя и в отфильтрованном и сгруппированном виде, но в основном через печатные источники, книги и периодику - прежде всего универсальные средства массовой информации (СМИ). Уже с конца XVIII в. с резким расширением деловой сферы, с развитием заморской торговли внимание бизнеса стала привлекать не только научно-техническая и другие виды информации для специалистов, но и специальная деловая и коммерческая информация и деловые новости. Постоянно повышалась роль газет в качестве источников такой информации. В первой половине XIX в. появились специальные деловые газеты, рассчитанные на деловое сообщество в качестве основного потребителя.

С этого времени сформировались и принципы издания газет, рассчитанных на предпринимателя, часть которых дожила до настоящего времени. Газета даёт предпринимателю не только деловую информацию, но и представление о среде, в которой ведется его бизнес с точки зрения участников, товаров и услуг (коммерческую информацию). Она должна сообщать и о событиях, связанных с этими участниками, а также информацию об условиях бизнеса в целом. Бизнесмен должен знать обстоятельства, в которых он существует и понимать, что происходит. Отсюда роль газет, а затем и телеграфных (информационных) агентств - сообщать деловые новости. Толчком к появлению новых видов информационных услуг, ориентированных на деловую и коммерческую информацию, стало освоение западных территорий в США. Несмотря на большие расстояния, постройка телеграфных линий связи в рамках территории одной страны не вызывала значительных трудностей и не требовала чрезмерных. При этом у бизнеса возникли новые информационные потребности в деловой и коммерческой информации, которые не могли быть удовлетворены существующими источниками информации и видами информационных услуг. Это были потребности в данных о текущих ценах на бирже и данные о потенциальных торговых и деловых партнерах или заёмщиках банков. В устойчивом бизнес-сообществе эти данные получают в ходе прямой межличностной коммуникации, а в условиях массы новых субъектов бизнеса, появляющихся и разоряющихся ежедневно и часто меняющих местонахождение и географию операций, такой способ получения информации не срабатывал. Ответом на эти потребности стали услуги доступа к оперативной биржевой информации с использованием телеграфа в виде ленты, содержащей котировки акций и ставки по привлечению и размещению финансовых ресурсов, доступной в

режиме он-лайн прямо с биржи биржевой информации и услуги в области коммерческой информации об участниках рынка и кредитного рейтинга. Данные информационные услуги первоначально, с момента своего возникновения, были платными и подготавливались, продавались или оказывались на рыночных основах и через рынок информационных услуг по высоким ценам. Эти цены основывались не только и не столько на стоимостных факторах, но и на предельной полезности, т. к. использование этой информации и информационных услуг в деловой практике давало эффект, часть которого уплачивалась через рынок информационных услуг информационным службам.

С появлением на рынке служб биржевой и коммерческой информации в информационной деятельности начались процессы обобществления, сначала на национальном, а затем и на международном уровнях. В результате этих процессов, вызвавших концентрацию подготовки информационных услуг и их оказания, уже к началу XX века на данном секторе рынка доминировало лишь несколько компаний, крупных даже по меркам того времени и работающих полностью на рыночных принципах. Необходимость комплексного удовлетворения потребностей бизнеса в информации привела к тому, что еще в конце XIX в. службы, интегрирующие предоставление биржевой и финансовой, статистической и коммерческой информации, деловых новостей, а также общих - политико-социальных и культурных новостей, - национальные телеграфные агентства с международным охватом, как источников информации, так и потребителей. Включение в состав интегрированного пакета деловых и общих новостей, которые в отличие от остальных составляющих пакета несут в себе субъективные элементы при отражении реальности, позволило сосуществовать на рынке нескольким агентствам. Эти агентства, хотя и обмениваются информацией между собой, кооперируются в подготовке отдельных услуг и на 80-90% предоставляют одну и ту же информацию, находят свою долю рынка. Для обеспечения независимости, они получают поддержку со стороны государства, которое рассматривает их как необходимый элемент государственной машины.

В первой половине XX в., с развитием процессов интернационализации бизнеса, появились потребности в экономической и демографической статистической информации и соответствующие службы информационной деятельности, занятые подготовкой информационных услуг, направленных на обеспечение этими видами информации. Если потребности в экономической статистической информации требовались предпринимателями для лучшего понимания макроэкономической ситуации в отдельных странах и в мире в целом как условие успешных инвестиций и работы на финансовых, а также на товарных рынках, то демографическая и специальная статистическая информация требовалась для анализа и исследования конкретных сегментов рынка - товаров и услуг и потребителей. В случае экономической и демографической статистической информации условия предоставления и оказания информационных услуг сначала были схожими и не отличались от тех, что использовались в отношении информационных услуг для специалистов. Затраты по подготовке статистической и демографической информации государство брало на себя, т.к. с её использованием решались собственные задачи государства - такие как задачи формирования эффективной системы налогообложения корпоративного и домашнего секторов экономики. Организация доступа к такой информации не требовала значительных средств. Эти затраты государство брало на себя, рассматривая их как необходимые для формирования условий нормального протекания и развития бизнеса и жизнедеятельности людей.

Обострение проблемы реализации, глобальные экономические кризисы и начавшийся в первой половине XX в. переход к организации бизнеса на принципах маркетинговой стратегии усилил роль специальной статистической и демографической информации как источника объективной информации о рынке. Появились службы, которые предлагали эту информацию в обработанном виде, рассчитанном на непосредственное использование в маркетинге. Информационные услуги этих служб и услуги в области биржевой и финансовой информации были платными. Помимо упомянутых информационных услуг службы маркетинговой информации вышли на рынок коммерческой информации, предлагая на рынке специальные списки потенциальных потребителей, структурированные особым образом для использования в прямом маркетинге и рекламе, для прямых продаж. Рост информационных потребностей бизнеса вызывал изменения и в секторах рынка информационных услуг, связанных с информацией для специалистов, где традиционно доминировало государство. Часть сектора информации для специалистов вышла из рамок публичного сектора общественного производства, когда в структуре корпораций образовались такие специализированные подразделения информационной деятельности, как специальные библиотеки. Существовая в рамках корпораций, эти библиотеки не выходили на рынок информационных услуг в качестве поставщиков информационных услуг, но стали их активными покупателями, обладающими солидными бюджетами, способствуя укреплению и развитию рынка информационных услуг.

В связи с ростом информационных потребностей со стороны бизнеса и усиления специальных библиотек, уже к концу XIX в. традиционный набор источников информации, включающий

непериодические и периодические издания, расширился за счёт включения в их состав каталогов продукции и услуг, а также разнообразных патентных документов, а в дальнейшем и непубликуемых документов (отчетов о научно-исследовательских работах и диссертаций, переводов, нормативно-технических документов). В конце 30-х гг. XX в., когда в США в рамках антикризисных мероприятий коммерческие и инвестиционные банки были разделены, и инвестиционным банкам потребовалось завоевать утраченное профессиональных инвесторов, как пенсионные фонды появился новый вид информационных услуг - аналитические материалы по состоянию отраслей и рынка, подготовленные специально в расчете на инвесторов.

С этими материалами связан ещё один парадокс рынка информационных услуг. Полученные в ходе рафинирования и фильтрации многочисленных видов источников деловой и коммерческой информации, выполняемых высококвалифицированными специалистами, такого рода материалы содержат ценную информацию, которая может напрямую использоваться при принятии деловых решений. Но они не стали частью услуг рынка информационных услуг, так как, несмотря на высокую стоимость подготовки, распространялись достаточно широко и бесплатно. Дело в том, что они рассматривались в качестве стандартной части пакета инвестиционно-банковских услуг и оплачивались в составе цены этого пакета. При этом оплата поступала только от клиентов банка, тогда как другие потребители, потенциальные клиенты получали их бесплатно, и их получение не было связано ни с какими обязательствами.

Зарождение рынка информации для специалистов (прежде всего научно-технической информации) и соответствующего сектора рынка информационных услуг находилось под влиянием повышения роли знаний и информации в качестве решающего фактора экономического роста, т. е. с расширением использования информационных ресурсов в бизнесе. Уже к концу XIX в. большая часть информационных услуг в области информации для специалистов, оказываемых вне библиотек, стала предоставляться на рыночных условиях. Этому способствовало как появление специальных библиотек, принесших в дополнение к бюджетным дополнительные средства в информационную деятельность для закупки источников информации, для подготовки информационных продуктов и оказания информационных услуг, так и изменение государственной политики в области информации и рост государственных затрат в этой области. Государство осознало растущую роль знаний для развития общественного производства как непосредственно, при применении информации в бизнесе, так и опосредованно, через повышение образовательного и культурного уровня членов общества, и увеличило ассигнования на информационную деятельность. В секторе информации для специалистов с появлением РЖ началось формирование рынка информационных услуг вне системы библиотек. Наряду с некоммерческими информационными службами, работающими под эгидой и за счет научно-технических обществ к подготовке РЖ приступили коммерческие компании, которые не могли работать по-иному, чем на рыночной основе. В результате в большинстве стран на рынке информационных услуг образовались некоммерческие и коммерческие национальные службы, обрабатывающие мировой поток по определенной тематике информации для определенной страны. Несмотря на различия в формах и источниках финансирования эти службы работали сходным образом и существенно не различались в качестве информационных услуг и их ценах. Дело в том, что ни одна из этих служб не могла обеспечить полноты обработки мирового потока информации, да и не стремилась увеличивать долю обрабатываемого потока, если это не вызывалось необходимостью конкуренции. Поэтому крупнейшие библиотеки были вынуждены покупать на рынке РЖ нескольких центров по цене поставщика, поддерживая достаточно высокую ликвидность рынка. Такая структура информационной деятельности и необходимость снижения затрат из-за роста цен источников позволила в первой половине XX в. начать привлечение к обработке информации и к подготовке рефератов специалистов из других, менее развитых стран с незначительным объёмом источников информации, так как при этом экономия достигалась как за счет отказа от покупки источников, так и за счет более низкой стоимости РЖ в этих странах. В некоторых странах, например, во Франции, государство полностью финансировало и контролировало подготовку РЖ, однако, это не помешало формированию рынка информационных услуг в данном секторе информации, а также процессам обобществления и интернационализации. В результате, к середине XX в. во Франции существовал один центр, обеспечивающий обработку всего мирового потока и подготовку РЖ на французском языке.

Формирование устойчивого самостоятельного мирового рынка информационных услуг, обособленного от мирового и национальных рынков как информационных, так и других услуг, началось в середине 50-х гг.. До начала 60-х гг. XX в. основными поставщиками на этом рынке выступали информационные службы академических, профессиональных, научно-технических и деловых обществ и

ассоциаций, учебных заведений, а также государственные службы, работающие на некоммерческой основе. Основными потребителями информационных услуг выступали ученые и специалисты в области науки и техники, а также профессионалы фондового и товарного рынков. Услуги и продукты включали информационные издания, распространяемые по подписке содержащие библиографическую, реферативную и обзорно-аналитическую информацию, библиотечное обслуживание и копии первоисточников. С первой половины XX в. на мировом рынке информационных услуг международная торговля информационными услугами дополнилась международной кооперацией государственных центров в региональном и, по некоторым отраслям и проблематике, в глобальном масштабе на международном и межгосударственных уровнях.

С середины 60-х гг. началось формирование новых элементов структуры информационной деятельности, принесших на рынок новые виды информационных услуг и привлечение новых потребителей. При этом, большинство старых элементов и видов услуг осталось неизменным, а модификации подверглись лишь некоторые из них. С середины 60-х до середины 70-х гг. в результате широкого внедрения в информационную деятельность новых информационных технологий, основывающихся на использовании вычислительной техники, важнейшим видом информационных услуг на рынке, определившим его содержание с этого времени, стали базы данных. Эти базы данных содержали библиографическую, реферативную, фактографическую и справочную, научно-техническую, а также другую информацию для специалистов, а также во все в большей мере деловую и коммерческую торгово-экономическую, статистическую и демографическую текстовую и цифровую информацию.

Базы данных (БД), первоначально используемые как промежуточный продукт при подготовке печатных изданий, при их предоставлении потребителю на магнитной ленте приобрели самостоятельное значение информационных ресурсов. На основе БД помимо подготовки информационных изданий стало возможным вести обслуживание потребителей в режимах избирательного распространения (ИРИ) и ретроспективного поиска информации (РПИ) с использованием сначала пакетного, а затем и диалогового поиска. Среди поставщиков информационных услуг выделились фирмы, специализирующиеся на создании БД - издатели баз данных (ИБД) и фирмы, специализирующиеся на ведении информационного обслуживания с использованием БД - операторы баз данных (ОБД), работающие во все большей мере на коммерческой основе. На коммерческой основе в возрастающей степени начало работать и большинство всех ранее существовавших информационных органов и систем за исключением публичных библиотек в части оказания простейших услуг.

Коммерциализация информационной деятельности стала магистральной линией развития информационной деятельности. Развитие и усложнение науки, техники и бизнеса, формирование межотраслевых и проблемно-ориентированных знаний породили потребности в значительных объемах новых видов информационных услуг. Использование новой информационной технологии, несмотря на существенно возросшие затраты на осуществление информационной деятельности, резко подняло эффективность работы крупных информационных органов. В информационную деятельность стало эффективным вкладывать капитал, так как в ней стала обеспечиваться норма прибыли, превышающая среднюю. С 60-х гг. информационная деятельность заняла важное место в работе и не специализирующихся на ней организаций, прежде всего деловых и научно-технических научно-исследовательских институтов и аналитических центров и органов государственного управления. В них создавались базы данных и фонды труднодоступных и непубликуемых первоисточников в удобной для оперативного копирования форме. Лидерство на мировом рынке информационных услуг захватили США. Среднегодовые темпы роста предоставления информационных услуг в стоимостном выражении составляли в США в 1971-1977 гг. 24% и сохранились в течение следующего десятилетия, достигнув в отдельных областях, например, в подготовке БД и их использовании, 25-30%. Основной объем потребления информационных услуг стал приходиться на специалистов, работающих в сфере бизнеса, торговли, промышленности и права.

Начиная с середины 70-х гг., с созданием национальных и глобальных сетей передачи данных ведущим видом информационных услуг стал диалоговый поиск информации в удаленных от пользователя базах данных. Возникли информационные службы с наибольшей централизацией, концентрацией и интеграцией информационной деятельности и вовлеченных в нее ресурсов. В этих центрах объединяется не только создание и использование БД, но и работа в области массовой информации и предоставление первоисточников. Доля БД научно-технической информации стабилизировалась и, например, в США составляла в начале 80-х гг. по разным оценкам до 30 % предложения на рынке и до второй половины 80-х

гг. XX в. постепенно сокращалась. Основную долю рынка информационных услуг стала занимать деловая и коммерческая торгово-экономическая и финансовая информация.

Развитие услуг диалогового доступа к удаленным базам данных вызвало рост числа мелких информационных служб, которые имели возможность эффективно работать за счёт предоставления посреднических услуг потребителям, не располагающим опытом использования новых дорогостоящих видов диалоговых услуг. Осознание ценности информационных услуг, рост потребностей в них вызвал появление на рынке информационных посредников, под которыми понимаются организации или лица, профессионально занимающиеся платным информационным обслуживанием внешних клиентов на коммерческой основе с использованием услуг специализированных информационных служб. Информационные услуги, которые представляются клиенту в доработанном виде, содержат добавленную стоимость, и соответствуют конкретным информационным потребностям. Основная специализация посредников - диалоговый поиск информации в удалённых базах данных.

Для второй половины 80-х гг. было также характерным появление на рынке новых поставщиков информационных ресурсов - издателей, специализирующихся на подготовке БД на компактных оптических дисках, служб телетекста и видеотекста, телекоммуникационных сетей, объединяющих владельцев ПК, многовходовых шлюзовых служб доступа к ОБД, обеспечивающих для потребителей возможность удобной и простой работы одновременно с десятками ОБД, в совокупности предоставляющих доступ к тысячам БД и т. п. Вторая половина 80-х гг. связана с развитием коммерческих систем массовой информации, базирующихся на сетях, объединяющих владельцев ПК и глобализацией информационной деятельности. Развитие информационной инфраструктуры в первой половине 90-х гг. определялось становлением Интернета - неформального объединения поставщиков и потребителей информации в масштабах всего мира - в качестве своеобразной альтернативы существующим структурам. Первые сети электронной коммуникации, рассчитанные на массового потребителя, но не использующие технологий Интернета, появились на рынке информационных услуг еще в 70-80 гг. XX в. Среди них можно выделить, прежде всего, AOL и CompuServe, которые в последующем, с появлением Интернета стали крупнейшими порталами. Сеть Интернет стала доступной для широкого круга потребителей с конца 80-х гг., однако её возможности на первом этапе ограничивались электронной почтой и обменом файлами между ПК. В середине 1993 г. сеть Интернет стала мультимедийной, и это открыло Интернету путь к массовости. Специальное программное обеспечение (ПО) позволяло пользователю *World Wide Web* (всемирной паутины) - одной из служб Интернета, созданной на основе использования этой технологии - путешествовать по сети, просто указывая на нужную пиктограмму или слово мышкой и нажимая на кнопку. Именно тогда Интернет становится не просто системой электронной почты или загрузки на ПК случайных файлов, а киберпространством, новым местом для встречи людей, обмена идеями и мнениями. С появлением технологии мультимедиа Интернет приобрел качества нового средства массовой информации, в котором издательская деятельность не только объединилась с вещанием, но получила новое измерение - диалог,

В начале 1994 в Интернете было всего несколько корпоративных *Web*-страниц, и большая часть из них была посвящена самой сети Интернет, *WWW* и различным вопросам информационных технологий. Интерактивность, мультимедийность и гипертекст *WWW* дали Интернету значительно более широкую аудиторию, чем прежде, и поэтому уже в 1994 г. число потребителей Интернета удвоилось, а число пользователей *WWW* - выросло в 20 раз. В конце 1994г. уже 8 млн. пользователей имели возможность работать с *WWW* и не менее половины из них активно работали. В середине 1995 к сети было подключено 5 млн. компьютеров. Число *web*-серверов осенью 1995 составляло 30 тыс. и они предоставляли доступ к 3 млн. страниц, которые могли использоваться для рекламы, развлечения или распространения информационных услуг, а также доступа к 25 тыс. баз данных. В начале 1996 в мире было 48 тыс. *Web*-серверов и 80 млн. *web*-страниц. В 1996 в Интернет было 35-45 млн. пользователей в 160 странах. В 1998 году выход в Интернет имела каждая десятая американская семья, в 2003 году - две трети американцев имели домашний доступ в Интернет.

В России, где первые шаги в развитии Интернета обошлись без государственной поддержки, фактически повторился подход к созданию Интернета, использованный в США со второй половины 80-х гг. При интеграции усилий государства, спонсоров и коммерческих структур вполне реально функционирование российского национального сегмента Интернета, услуги которого стали платными для коммерческих пользователей, бесплатными для большинства бюджетников и относительно дешёвыми для всех остальных. 2000-й год характеризовался значительным взлетом, а потом - резким падением интереса инвесторов к акциям высокотехнологических компаний, основными из которых выступали компании, работающие в области информационных услуг. Дефицит притока инвестиций привел к тому, что реализация многих проектов затормозилась, а то и вообще прекратилась. Инвесторы

перестали оценивать компании исключительно на основе перспектив роста числа потребителей и стали ориентироваться при принятии инвестиционных решений на реальные денежные потоки, которые способна принести компания.

Другим фактором, важным для перспектив дальнейшего развития традиционных информационных служб и рынка информационных услуг в целом, стало увеличивающееся осознание рынком большей важности содержания по сравнению с формой представления и каналами распространения. Ценность содержания, значительно девальвированная в течение 1997-1999 гг. массовостью предложения услуг, вновь получила высший приоритет, так как рост предложения информационных услуг сочетался со снижением для пользователя точности и полноты поиска информации и ростом затрат времени для решения задач информационного обеспечения бизнеса или личностного развития. Быстрый рост российского сегмента Интернета показал, что адекватные рыночной экономике методы организации информационной деятельности и информационные услуги имеют хорошие перспективы для развития. Сеть Интернет стала первым подразделением российской информационной деятельности, привлечшим инвестиции в существенных объемах. Модели развития информационной деятельности в российском секторе сети не отличались от западных, и поэтому кризис Интернет-компаний был неизбежен и произошел, хотя глубина падения стоимости компаний и потери инвесторов были существенно ниже, чем на Западе.

Современный информационный рынок - рынок электронной информации и коммуникации, частью которого является рынок информационных ресурсов и услуг можно разделить на три взаимодействующих области: информация собственно рынка информационных услуг (базы данных, доступные в электронном виде через сети связи и на носителях, имеющих вещную форму, создаваемые ИБД, и услуги по организации доступа к базам данных в электронном виде - ОБД; электронные сделки (электронная торговля, биржевые и финансовые операции; глобальная электронная коммуникация (организация работы сети). *World Wide Web*, занявшая одно из лидирующих положений на информационном рынке дала новое измерение для каждой из упомянутых областей, интегрировав их на качественно новом и более высоком уровне. В последнем десятилетии XX в. началась интеграция трёх упомянутых областей в одно целое в рамках Интернета, который, в свою очередь, превратился в самостоятельную область информационного рынка. Интернет открыл новые возможности развития для всех секторов информационного рынка.

Современный информационный рынок в части электронных сделок выступает элементом рыночной инфраструктуры современного информационного общества. Область глобальной электронной коммуникации находится на стыке с отраслью электросвязи, которую рассматривают как отрасль материального производства, и она может быть также отнесена к рынку услуг связи в части её усовершенствованных услуг. Область информации является не только ведущей на информационном рынке, но и одним из лучших примеров доминирования нематериального производства и постоянного повышения его роли в сопоставлении с материальным производством в современном обществе. Информационный рынок включает в себя такие важные элементы, как подготовка источников информации, специальные услуги библиотек и архивов, услуги в области природной - метеорологической, космической, гео- и экологической информации, услуги обработки данных и провайдинг приложений, услуги по разработке информационных систем, стратегическое консультирование, услуги в области разработки и применения программного обеспечения, а также средства массовой информации.

На мировом рынке информации и информационных услуг можно выделить следующие основные секторы, которые характерны для всех развитых стран, и не зависят от каналов передачи информации:

1. Сектор деловой информации, охватывающий: биржевую и финансовую информацию - информацию о котировках ценных бумаг, валютных курсах, учетных ставках, рынке товаров и капиталов, инвестициях, ценах, предоставляемую биржами, специальными службами биржевой и финансовой информации, брокерскими компаниями, банками; · экономическую и социальную статистическую информацию - числовую экономическую, демографическую, социальную информацию в виде рядов динамики, прогнозных моделей и оценок, предоставляемую государственными службами, а также компаниями, занятыми исследованиями и разработками и консалтингом в области рынков спроса; коммерческую информацию - информацию по компаниям, фирмам, корпорациям, направлениям работы и их продукции, ценам, финансовому состоянию, связям, сделкам, руководителям и т. п.; · деловые новости в области экономики и бизнеса, предоставляемые специальными информационными службами.

2. Сектор информации для специалистов, охватывающий: профессиональную информацию - специальные данные и информацию для юристов, врачей, фармацевтов, преподавателей, инженеров и т. п.; научно-техническую информацию - документальную библиографическую и реферативную, справочную информацию и данные в области фундаментальных и прикладных, естественных, технических и общественных наук, отраслей производства и сфер человеческой деятельности; услуги организации доступа к первоисточникам (в том числе в виде копий документов) - через библиотеки и специализированные службы, возможности приобретения первоисточников.

3. Сектор массовой и потребительской информации, охватывающий: новости и литературу - информацию служб новостей и агентств прессы, электронные журналы, справочники, энциклопедии; · потребительскую и развлекательную информацию, ориентированную на домашнее, а не служебное использование - местные новости, погоду, расписания движения транспорта, игры, предложения по обмену, покупкам и продажам, справочники отелей и ресторанов, информацию по обмену валюты, аренде машин, дач, турам.

На рынке электронных сделок представлены системы банковских карт, системы резервирования билетов и мест в гостиницах, заказа товаров и услуг, а также биржевых, банковских и расчетных операций. До середины 90-х гг. этот рынок развивался в рамках специализированных компьютерных систем транспортных и туристических компаний, крупных банков и фондовых брокеров, а также торговых компаний. Доступ к этим системам со стороны конечного потребителя был ограничен. Интернет изменил ситуацию, привлёк в эти области массового потребителя, а также всё большее число ранее замкнутых систем, которые начали использовать эту сеть для совершения электронных сделок, несмотря на все ещё сохраняющиеся явно недостаточные возможности защиты информации.

На развитом рынке электронных сделок имеются системы финансовых, банковских и расчётных операций, специальные платёжные системы для обслуживания сделок в Интернете, службы резервирования билетов и мест в самолетах, поездах, автобусах, гостиницах, кемпингах, заказа товаров и услуг и т. п. Рынок электронных сделок в России включает: системы заказа билетов на железнодорожном и авиационном; системы электронных банковских операций; электронные биржи; системы электронной торговли. Примером систем электронных бирж служат системы типа *ELM* или *BIS*. Основное отличие отечественных электронных бирж от западных - отсутствие узкой специализации. В годы Интернет-бума с 1999 существенное развитие получили российские системы электронных платежей, торговли ценными бумагами, электронные магазины.

На рынке электронной глобальной коммуникации можно выделить различные системы на основе современных средств связи и человеческого общения - коммерческие и публичные сети передачи данных, системы электронной почты, коммерческие диалоговые системы, объединяющие владельцев ПК, телеконференции, электронные сетевые доски объявлений и бюллетени и т. п. Основным их отличием от рынка стандартных услуг связи выступает ориентация на оказание услуг с добавленной стоимостью. Интернет вошел на мировой информационный рынок именно через эту область и долго существовал и развивался параллельно с другими службами связи и компьютерными сетями. В дальнейшем основная часть рынка электронных коммуникаций с добавленной стоимостью интегрировалась в Интернет. Эта область выделилась из рынка услуг связи и в отличие от стандартных услуг связи, при оказании которых основное внимание уделяется передаче информации вне зависимости от её содержания, оказываемые услуги имеют сильную связь с содержанием, которое выступает важным компонентом формирования спроса на них, и часто неотрывны от него, а также более тесную привязку к потребностям конкретных потребителей.

Информационный рынок включает сектора: электронная информация; электронные сделки; системы сетевых коммуникаций; программное обеспечение. Они не зависят от каналов передачи информации, т. е. распространяются и на Интернет.

1. Сектор деловой и коммерческой информации с подсекторами: биржевой и финансовой информации, экономической и социальной статистической информации, коммерческой информации, деловых новостей.
2. Сектор информации для специалистов с подсекторами: профессиональной информации, научно-технической информации, · услуг по организации доступа к первоисточникам.
3. Сектор массовой и потребительской информации с подсекторами: · новостей и литературы, · потребительской и развлекательной информации.

В настоящее время основными тенденциями мирового информационного рынка информационных технологий являются стандартизация, ликвидация промежуточных звеньев, глобализация и конвергенция.

Понятие информации и энтропии оказались весьма полезными для характеристики свойств детерминированного хаоса. При этом информация отвечает за порядок системы, а энтропия – за царящей в ней беспорядок. В этой лекции мы рассмотрим роль энтропии и информации в описании поведения диссипативных структур и динамического хаоса. Начнём мы с анализа различных способов введения меры измерения количества информации, их положительные и отрицательные стороны, связь с изменением информации в системе, а кончим одним замечанием ко всему курсу лекций.

Теперь, после того, как мы познакомились с разными видами информации, имеет смысл вернуться к рассмотрению меры информации и проанализировать их более подробно.

1. МЕРЫ ИНФОРМАЦИИ

Информация может пониматься и интерпретироваться в различных проблемах, предметных областях по-разному. Поэтому имеются различные подходы к определению измерения информации и различные способы введения меры количества информации. Количество информации - числовая величина, адекватно характеризующая актуализируемую информацию по разнообразию, сложности, структурированности (упорядоченности), определенности, выбору состояний отображаемой системы. Если рассматривается некоторая система, которая может принимать одно из n возможных состояний, то актуальной задачей является задача оценки этого выбора, исхода. Такой оценкой может стать мера информации (события). Мера - непрерывная действительная неотрицательная функция, определенная на множестве событий и являющаяся аддитивной (мера суммы равна сумме мер). Меры могут быть статические и динамические, в зависимости от того, какую информацию они позволяют оценивать: статическую (оценка сообщений без учета ресурсов и формы актуализации) или динамическую (оценка также и затрат ресурсов для актуализации информации).

1.1 Подходы к измерению количества информации

При реализации информационных процессов всегда происходит перенос информации в пространстве и времени от источника информации к приемнику. При этом для передачи информации используют различные знаки или символы, например естественного или искусственного (формального) языка, позволяющие выразить её в форме сообщения.

С точки зрения семиотики (*semeion* - знак, признак) - науки, занимающейся исследованием свойств знаков и знаковых систем сообщение, может изучаться на трех уровнях:

- **синтаксическом**, где рассматриваются внутренние свойства сообщений, т. е. отношения между знаками, отражающие структуру данной знаковой системы.
- **семантическом**, где анализируются отношения между знаками и обозначаемыми ими предметами, действиями, качествами, т. е. смысловое содержание сообщения, его отношение к источнику информации;
- **прагматическом**, где рассматриваются отношения между сообщением и получателем, т. е. потребительское содержание сообщения, его отношение к получателю.

Таким образом, проблемы передачи информации тоже разделяют на три уровня: синтаксический, семантический и прагматический.

Синтаксический уровень связан с чисто техническими проблемами совершенствования методов передачи сообщений и их сигналов, т.е. с задачами доставки получателю сообщений. При этом инженеры полностью абстрагируются от смыслового содержания сообщений и их целевого предназначения, учитывая такие параметры, как тип носителя, способ представления информации, скорость передачи и обработки, размеры кодов представления информации и т.д. Информацию здесь отождествляют с данными, поскольку смысловая сторона не имеет значения.

Проблемы семантического уровня связаны с формализацией и учётом смысла передаваемой информации. На данном уровне анализируются те сведения, которые отражает информация, выявляется смысл, содержание информации, осуществляется её обобщение. Проблемы этого уровня чрезвычайно сложны, так как смысловое содержание информации больше зависит от получателя, чем от семантики сообщения, представленного на каком-либо языке. На данном уровне анализируются сведения, которые отражает информация, выявляется смысл информации, выявляется содержание информации.

На прагматическом уровне интересуют последствия от получения и использования данной информации потребителем. Проблемы этого уровня связаны с определением ценности и полезности информации для потребителя. Основная сложность здесь состоит в том, что ценность, полезность

информации может быть совершенно различной для различных получателей и, кроме того, она зависит от ряда факторов, таких, например, как своевременность ее доставки и использования.

Современная теория информации исследует в основном проблемы синтаксического уровня. Она опирается на понятие «количество информации», которое никак не отражает ни смысла, ни важности передаваемых сообщений. В связи с этим иногда говорят, что теория информации находится на синтаксическом уровне.

Для каждого из рассмотренных выше уровней проблем передачи информации существуют свои подходы к измерению количества информации и свои меры информации. Различают соответственно меры информации синтаксического уровня, семантического уровня и прагматического уровня. Остановимся лишь на мерах информации синтаксического уровня.

Количественная оценка информации синтаксического уровня не связана с содержательной стороной информации, а оперирует с обезличенной информацией, не выражающей смыслового отношения к объекту. В связи с этим данная мера даёт возможность оценки информационных потоков в таких разных по своей природе объектах, как системы связи, вычислительные машины, системы управления, нервная система живого организма и т. п. Для измерения информации на синтаксическом уровне вводятся два параметра: объем информации (данных) - V (объемный подход) и количество информации - I (вероятностный подход).

Часто приходится иметь дело с явлениями, исход которых неоднозначен и зависит от факторов, которые мы не знаем или не можем учесть. Например – определение пола будущего ребёнка, результат бросания игральной кости и пр. События, о которых нельзя сказать произойдут они или нет, пока не будет осуществлен эксперимент, называются случайными. Раздел математики, в котором строится понятийный и математический аппарат для описания случайных событий, называется теорией вероятности.

Осуществление некоторого комплекса условий (отдельный повтор случайного события) называется опытом, а интересующий нас исход этого опыта – благоприятным событием. Тогда, если N – общее число опытов, а N_A – количество благоприятных исходов случайного события A , то отношение N/N_A называется относительной частотой появления события A . В разных сериях, значение частоты может оказаться различным. Действительно, например, в серии из трёх опытов по бросанию монеты может 2 раза выпасть орёл и 1 раз решётка. Если благоприятным событием считать выпадение орла, то частота получается равно $2/3$. В другой серии она может быть равно 0 или 1 или $1/3$. Однако, оказывается, что при увеличении количества опытов значение относительной частоты всё меньше и меньше отклоняется от некоторой константы. Скачки могут быть, но все реже и реже. Наличие этой константы называется статистической устойчивостью частот, а сама константа вероятностью случайного события A . В случае, если все исходы опыта конечны и равновероятны, то их вероятность равна $P=1/n$, где n – число возможных исходов.

Пример. Вероятность выпадения орла при бросании монеты – $1/2$; вероятность вытянуть из урны красный шар (при условии, что там три шара – красный, синий, белый) – $1/3$.

Итак, при работе со случайными событиями, есть некоторая неопределенность. Введём в рассмотрение численную величину, измеряющую неопределенность опыта.

Энтропия – мера неопределенности опыта, в котором проявляются случайные события. Обозначим её H .

Очевидно, что величины H и n (число возможных исходов опыта) связаны функциональной зависимостью: $H=f(n)$, то есть мера неопределенности есть функция числа исходов.

Некоторые свойства этой функции:

1. $f(1)=0$, так как при $n=1$ исход не является случайным и неопределенность отсутствует.
2. $f(n)$ возрастает с ростом n , так как чем больше возможных исходов, тем труднее предсказать результат, и, следовательно, больше неопределенность.
3. если α и β два независимых опыта с количеством равновероятных исходов n_α и n_β , то мера их суммарной неопределенности равна сумме мер неопределенности каждого из опытов:

$$f(n_\alpha, n_\beta) = f(n_\alpha) + f(n_\beta)$$

Все три этим свойствам удовлетворяет единственная функция – $\log(n)$. То есть за меру неопределенности опыта с n равновероятными исходами можно принять число $\log(n)$. Вопрос – по какому основанию? В силу известной формулы $\log_b n = \log_a n / \log_a b$ выбор основания значения не имеет, следовательно, можно взять в качестве основания логарифма 2. Таким образом:

$$H = \log_2 n$$

Это формула Хартли.

Преобразовывая, получим: $2^H = n$

Если исходы опыта не равновероятны, справедлива формула Шеннона: $h = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)$, где p_i – вероятность i -того исхода.

Какова же связь энтропии с информацией?

Из определения энтропии следует, что энтропия – числовая характеристика, отражающая ту степень неопределенности, которая исчезает после проведения опыта, т. е. ПОСЛЕ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ. Именно после проведения опыта мы получаем определённую информацию. Энтропия опыта равна той информации, которую мы получаем в результате его осуществления. Информация I – содержание сообщения, понижающего неопределенность некоторого опыта с неоднозначным исходом; убыль связанной с ним энтропии является количественной мерой информации. Если H_1 – начальная энтропия (до проведения опыта), H_2 – энтропия после проведения опыта, то информация

$$I = H_1 - H_2 = \log_2 n_1 - \log_2 n_2 = \log_2 (n_1/n_2).$$

В случае, когда получен конкретный результат, $H_2 = 0$, количество полученной информации совпадает с начальной энтропией и подсчитывается по формуле Хартли.

Итак, мы ввели меру неопределенности – энтропию и показали, что начальная энтропия (или убыль энтропии) равна количеству полученной в результате опыта информации. Важным при введении какой-либо величины является вопрос о том, что принимать за единицу ее измерения. Очевидно, значение H будет равно 1 при $n=2$. Иначе говоря, в качестве единицы принимается количество информации, связанное с проведением опыта, состоящего в получении одного из двух равновероятных исходов (например, бросание монеты). Такая единица количества информации называется «бит».

Вероятностный подход учитывает ценность информации для конкретного получателя (действительно, ведь речь идет о благоприятных (для кого-то!!) событиях).

Пример. Определим количество информации, связанное с появлением каждого символа в сообщениях, записанных на русском языке. Будем считать, что русский алфавит состоит из 33 букв и знака «пробел». По формуле Хартли: $H = \log_2 34 = 5$ бит (здесь считаем, что появление каждой буквы равновероятно), а по формуле Шеннона (для неравновероятных исходов) 4,72 бит. Значение, полученное по формуле Хартли – максимальное количество информации, которое может приходиться на один знак.

При реализации информационных процессов информация передается в виде сообщения, представляющего собой совокупность символов какого-либо алфавита. При этом каждый новый символ в сообщении увеличивает количество информации, представленной последовательностью символов данного алфавита. Если теперь количество информации, содержащейся в сообщении из одного символа, принять за единицу, то объем информации (данных) V в любом другом сообщении будет равен количеству символов (разрядов) в этом сообщении. Так как одна и та же информация может быть представлена многими разными способами (с использованием разных алфавитов), то и единица измерения информации (данных) соответственно будет меняться. В компьютерной технике наименьшей единицей измерения информации является 1 бит. Объем информации, записанной двоичными знаками (0 и 1) в памяти компьютера или на внешнем носителе информации подсчитывается просто по количеству требуемых для такой записи двоичных символов. Например, восьмиразрядный двоичный код 11001011 имеет объем данных $V = 8$ бит. В современной вычислительной технике наряду с минимальной единицей измерения данных «бит» широко используется укрупнённая единица измерения «байт», равная 8 бит.

Следует обратить внимание, что в системе измерения двоичной (компьютерной) информации, в отличие от метрической системы, единицы с приставками «кило», «мега» и т. д. получаются путем умножения основной единицы не на $10^3 = 1000$, $10^6 = 1000\,000$ и т. д., а на 2^{10} , 2^{20} и т. д.

1.2 Ценность информации

Ценность информации является величиной, имеющей различные значения для различных людей, в соответствии с их способностью понять информацию и использовать её в дальнейшем в различных областях своей деятельности. Информация ценна, поскольку она способствует достижению поставленной цели. Информация может иметь различную ценность, если критерием оценки избрать её использование для различных целей. Вопросом особой значимости является отношение информации и знания, первичности одного к другому. Понятия «знание» и «информация» часто отождествляются. В то же время знание рассматривают как высшую форму отражения действительности, а информацию – как особое фундаментальное свойство материи. Говоря, что объект (или субъект) A отражает объект B , имеют в виду определенные изменения в A , которые соответствуют определенным изменениям в B и вызываются ими. Говоря об информации, подразумевают прежде всего особый способ взаимодействия, через который

осуществляется передача изменения от B к A в процессе отражения, - способ, который реализуется через поток сигналов, идущих от объекта к субъекту и особым образом в нём преобразуемых.

Уровень сложности и формы информации зависят от качественных характеристик объекта и субъекта, от типа передающихся сигналов, которые реализуются в форме языковых знаковых систем. Говоря о знании, мы имеем в виду именно высший уровень информации, функционирующий в человеческом обществе. При этом в качестве знания выступает не вся информация, идущая от B и воспринимаемая A , а лишь та её часть, которая преобразована и переработана A (в данном случае - человеком) особым образом. В процессе переработки информация должна приобрести знаковую форму и выразиться в ней с помощью других знаний, хранящихся в памяти; она должна получить смысл и значение. Следовательно, знание - это всегда информация, но не всякая информация - знание. В превращении информации в знание участвует целый ряд закономерностей, включающих знание в систему общественных связей, в культурный контекст определенной эпохи. Благодаря этому знание становится достоянием общества, а не только отдельных индивидов.

В то же время информация - не просто результат отражения, не просто данные или знание. Только взаимодействуя с потребителем, данные или знание приобретают характер сообщения, сведения, т. е. становится информацией. Информация - это данные, находящиеся в постоянном обороте и движении, это знания, которые собираются, хранятся, перерабатываются, передаются и используются развивающейся системой. Знание только тогда приобретает качество информации, когда оно действует или может действовать как основа регуляции, управления. Информация есть только там, где есть движение, преобразование, использование и управление.

Относительность информации проявляется в том, что системы с различным уровнем организации извлекают из одного и того же источника различную, но всегда соответствующую своему уровню информацию. Положение об извлечении и использовании информации для построения определенных программ поведения и действия - принципиально. Именно оно является основой функциональной концепции информации, связывая последнюю с процессами управления. Информация является не субстанциональным свойством всей материи, а функциональным свойством систем управления, связью управляющих систем с управляемыми.

Между информацией и её значением (смыслом) можно установить чёткое различие. Информация - неотъемлемая данность любых систем, взаимодействующих с человеком. Значение (смысл) достигается только тогда, когда обретенная информация помещается в определенный контекст, то есть информация становится значимой лишь после анализа, сравнения и интеграции с другой, уже существующей в воспринимающей системе информацией.

1.3 Информация и сложность системы

В данном курсе лекций мы уже говорили об алгоритмической энтропии и информации, как меры сложности систем и степени её хаотически. Остановимся ещё раз на подходе Колмогорова к созданию меры информации.

Акад. А.Н. Колмогоровым дано определение сложности, исходя из чего сложность объекта - есть минимальное число двоичных знаков, содержащих информацию об объекте, достаточную для его воспроизведения (декодирования). Другими словами, сложность - это выраженная в битах длина самой экономичной программы, порождающей сообщение об объекте. Для того, чтобы установить, что данная последовательность чисел сложна (т.е. случайна), следует доказать, что не существует более короткой программы, порождающей эту последовательность. Согласно теореме Гёделя такое утверждение недоказуемо, доказательство требует системы большей сложности. Важно, что творческие создания человека, произведения литературы и искусства не могут быть представлены сокращенной программой. В этом смысле они уникальны, т.е. незаменимы. Сложно то, что незаменимо. Невозможность дальнейшей минимизации программы, генерирующей сложное сообщение, означает её незаменимость.

Давайте сыграем в такую игру. Один загадывает число, скажем, в пределах от единицы до тысячи, а второй в попытках угадать это число задает вопросы, ответом на которые может быть только «да» или «нет». Цель игры — угадать задуманное число, задав минимальное количество вопросов. Хорошо известна стратегия этой игры, позволяющая, во всяком случае, не проиграть. Следуя подобной стратегии, вы должны мысленно разделить интервал, в пределах которого загадываются числа, пополам и задать вопрос: — Задуманное вами число больше пятисот двенадцати? Полезно брать не точно половину интервала, т. е. не число «пятьсот», а ближайшую к этому числу целую степень двойки (и все остальные называемые в вопросах числа - это также целые степени двойки 'либо суммы таких степеней). В случае положительного ответа делим пополам верхнюю половину интервала и задаём следующий вопрос:— Задуманное вами число больше семисот шестидесяти восьми? В случае же отрицательного ответа на

первый вопрос пополам делится нижняя половина интервала и соответственно следующий вопрос формулируется так: — Задуманное вами число больше двухсот пятидесяти шести? Каким бы ни было задуманное число, если только оно находится в пределах интервала от нуля до тысячи, отгадать его можно, следуя такой стратегии, не более чем за десять вопросов. В общем случае минимальное количество вопросов равно целому, ближайшему (сверху) к двоичному логарифму от ширины интервала, в пределах которого загадываются числа. Спрашивается, сколько информации получим, узнав задуманное число? Академик А. Колмогоров предложил принять за количество информации, содержащейся в некотором сообщении, минимальное количество ответов типа «да» — «нет», которые надо получить, чтобы угадать это сообщение. Существенную роль играет слово «минимальное». Всегда существует стратегия, позволяющая угадать сообщение, задавая вопросы, ответами на которые могут быть только «да» или «нет», причём среди многих таких стратегий (алгоритмов) существует одна, обладающая тем свойством, что при её использовании задается минимальное количество вопросов.

Особенность алгоритмического подхода в теории информации заключается в том, что используемая в нём количественная мера информации предполагает наличие двух множеств. Можно говорить лишь о количестве информации, содержащейся в одном множестве относительно другого. Информация выступает, следовательно, в форме отношения между множествами. Количество её определяется как минимальная длина программы, однозначно преобразующая одно множество в другое. На первый взгляд между алгоритмической и энтропийной трактовками информации нет ничего общего. Однако можно провести между ними определенную параллель.

Выбор одной альтернативы из некоторого множества возможных предполагает, что в нашем распоряжении имеется алгоритм, который переводит исходное множество альтернатив в множество, содержащее одну альтернативу. Именно по такой схеме осуществляется работа оптимизационных программ. Исходным множеством альтернатив в этом случае является так называемое допустимое множество (область оптимизации). Задача заключается в том, чтобы из допустимого множества выбрать множество оптимальных решений в смысле того или иного критерия. Если программа сложна и содержит большое число, команд (или операций), то можно говорить, что в данном случае оптимум относительно допустимого множества содержит большое количество информации. Вместо этого можно говорить о большом количестве информации, переработанной программой.

В рамках энтропийного подхода для оценки количества информации потребовалось бы 1) определение мощности допустимого множества и 2) определение вероятности того, что элемент из этого множества является оптимальным (для каждого элемента). Если для простоты предположить конечность допустимого множества и равновероятность альтернативных вариантов (за отсутствием других гипотез), то количество информации будет равно логарифму от числа элементов допустимого множества. Это даёт представление о сложности алгоритма, если учесть, что для общего случая дискретной оптимизационной задачи алгоритм решения близок к алгоритму прямого перебора.

Существуют задачи, где алгоритмический подход к информации обладает рядом преимуществ перед энтропийным, например, в области современных теорий управления, где он хорошо отображает особенности постановок управленческих задач. С общеметодологической точки зрения алгоритмический подход согласуется с «разнообразностной» трактовкой информации. Он близок и к истолкованию информации как «снятой» неопределённости, т.к. работу алгоритма можно рассматривать как процесс снятия неопределённости. При этом неопределённость может быть представлена множеством альтернатив в виде набора возможных решений. Существование некоторой области возможностей играет важную роль в выяснении природы информации.

1.4 Энтропия динамической системы

Динамическая система — математическая абстракция, предназначенная для описания и изучения систем, эволюционирующих с течением времени. Примером могут служить механические системы (движущиеся группы тел) или физические процессы. Реальным физическим системам, моделируемым математическим понятием «динамической системы», приписывается важное свойство *детерминированности*: зная состояние системы в начальный момент времени, мы можем однозначно предсказать все её дальнейшее поведение. Фазовым пространством динамической системы называется множество всех её возможных состояний в фиксированный момент времени. Обычно состояние системы задается некоторым набором чисел (фазовых координат) и представляет собой область в многомерном пространстве или многообразие. Эволюция системы представляется как движение точки фазового пространства. Кривая, описываемая этой точкой называется фазовой кривой или фазовой траекторией. Каждая точка фазового пространства задаёт состояние *всей* системы.

Существуют два вида энтропии, которые могут служить мерой хаоса: топологическая энтропия и метрическая энтропия (или энтропия Колмогорова–Синая)

Энтропия Колмогорова–Синая — энтропия динамической системы.

Энтропия Колмогорова–Синая, степень генерации информации динамической системой, сохраняющей меру

К-энтропия – мера хаотичности и неустойчивости, она связана со средней скоростью разбегания близких в начальный момент траекторий.

Понятие энтропии используется не только для описания случайных (вероятностных) процессов, энтропию (и информацию) можно приспособить и для описания строго детерминированных процессов, например, процессов в классической механике.

В классической механике энтропия используется как характеристика динамического хаоса в системах с неустойчивостью движения – экспоненциальной расходимостью близких в начальный момент траекторий. Количественной мерой неустойчивости таких систем служит энтропия Крылова-Колмогорова-Синяя, или К-энтропия. Для широкого класса систем К-энтропия выражается через положительные показатели Ляпунова по формуле:

$$K_s = \sum_i \lambda_i$$

Если положительные показатели Ляпунова отсутствуют и, следовательно, движение устойчиво, то К-энтропия равна нулю.

Другое применение К-энтропии – оценка энтропии Вселенной.

Энтропия вселенной – величина, характеризующая степень неупорядоченности и тепловое состояние Вселенной.

Количественно оценить полную энтропию Вселенной как термодинамическую энтропию Клаузиуса нельзя, поскольку энтропия не является термодинамической системой. Из-за того, что гравитационное взаимодействие является дальнодействующим и неэкранируемым, гравитационная энергия Вселенной не пропорциональна её объёму. Полная энергия Вселенной тоже не пропорциональна объёму и поэтому не есть аддитивная величина. Кроме того, Вселенная согласно закону Хаббла расширяется, т.е. нестационарна. Оба эти факта означают, что Вселенная не удовлетворяет исходным аксиомам термодинамики об аддитивности энергии и существовании термодинамического равновесия. Поэтому Вселенная, как целое, не характеризуется какой-либо одной температурой. Оценить энтропию Вселенной, как энтропию Больцмана $k \ln W$, где k – постоянная Больцмана, W – число возможных микросостояний системы, также нельзя, поскольку Вселенная не «пробегаёт» все возможные состояния, а эволюционирует от одного состояния к другому. Иными словами, для всей Вселенной нельзя ввести статистический ансамбль Гиббса, т.к. нельзя пренебречь гравитационным взаимодействием членов такого ансамбля.

Энтропию Вселенной, как целого можно оценить, используя понятие энтропии Колмогорова-Синяя. К-энтропия является мерой хаотичности и неустойчивости, она связана со средней скоростью разбегания близких в начальный момент траекторий. Причём К-энтропия тем больше, чем быстрее разбегаются траектории, т.е. чем сильнее неустойчивость траекторий и хаотичней система. Однородное распределение вещества гравитационно неустойчиво; развитие неустойчивости приводит к образованию отдельных сгустков. При гравитационном сжатии сгустка гравитационная энергия вещества переходит в тепловую энергию движения частиц. Поэтому образование звёзд и галактик из равномерно распределённого вещества переходит в тепловую энергию частиц. Поэтому образование звёзд и галактик из равномерно распределённого вещества сопровождается ростом К-энтропии. Таким образом, в рамках этого предположения для Вселенной справедлив закон роста энтропии, хотя она и не является термодинамической системой и в ходе эволюции становится структурно более сложной.

2. ИНФОРМАЦИЯ И ЭНТРОПИЯ - МЕРЫ ПОРЯДКА И ХАОСА

2.1 Порядок, беспорядок и хаос

Мерой беспорядка, хаоса для некоторой системы является её энтропия, тогда как информация (антиэнтропия) является мерой упорядоченности и сложности системы. По мере увеличения сложности системы величина энтропии уменьшается, и величина информации увеличивается. Процесс увеличения информации характерен для открытых, обменивающихся веществом и энергией с окружающей средой, саморазвивающихся систем живой природы (белковых молекул, организмов, популяций животных и так далее). В физике информация рассматривается как антиэнтропия или энтропия с обратным знаком.

Основы математического аппарата, подходящего для описания беспорядка (хаоса), были заложены ещё в конце XIX века, но получили широкое развитие лишь в наше время. Этому сильно способствовала отечественная математическая школа академика А.Н.Колмогорова (В.И.Арнольд, Я.Г.Синай и др.), а области прикладных исследований большая заслуга принадлежит школам А.В.Гапонова-Грехова и А.С.Монина. В настоящее время формируется новый весьма универсальный подход к анализу нелинейных систем, основанный на классических результатах математиков и физиков.

Если система хаотична, можно ли узнать, насколько она хаотична? Мерой хаоса служит «энтропия» движения, которая, грубо говоря, равна средней скорости растяжения и складывания или средней скорости, с которой «производится» информация.

Порядок - гармоничное, ожидаемое, предсказуемое состояние или расположение чего-либо.

Порядок в физике - упорядоченное в пространстве расположение объектов, часто атомов или молекул. Порядок - состояние системы, с достаточной степенью точности инвариантное относительно некоторых определённых сдвигов в пространстве.

Беспорядок термодинамической системы - количество возможностей конфигурирования системы.

Ха́ос (*χαῖνω*, «раскрываться, разверзаться») - категория космогонии, первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность материи и пространства (в противоположность порядку). В обыденном смысле **хаос** понимают как беспорядок, неразбериху, смешение.

Динамический хаос - явление в теории динамических систем, при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминистическими законами.

Порядок в физической, экологической, экономической и любой другой системе может быть двух видов: равновесный и неравновесный. При равновесном порядке, когда система находится в равновесии со своим окружением, параметры, которые ее характеризуют (температура, давление) одинаковы с теми, которые характеризуют окружающую среду; при неравновесном порядке они различны. На первый взгляд равновесный порядок более «стабилен», чем неравновесный. В самой природе равновесного порядка заложено противодействие любым возмущениям состояния системы (такое «упрямство» в термодинамике называется принципом Ле-Шателье). Способность возвращаться к исходному состоянию – неперенное свойство так называемых саморегулирующихся систем.

Природа неравновесного порядка другая. Этот вид порядка – искусственного происхождения и существует только при условии подачи энергии (или питательной массы) извне. Действительно, ведь неравновесность – неодинаковость параметров системы и среды – вызывает потоки тепла и массы. Поэтому для поддержания порядка требуется компенсировать потери, к которым приводят необратимые «выравнивающие» потоки. Другими словами, нужны энергетические затраты. Если подпитку энергией прекратить, то система «свалится» в состояние равновесного порядка. Потери, связанные с перетеканием тепла или массы, называются диссипативными, поскольку их физическая сущность – рассеяние энергии, как говорят, её диссипация. Создается парадоксальная ситуация: в условиях диссипации, традиционно воспринимаемой как проявление распада структур, их неустойчивости, возникает порядок!

Физика – наука количественная, и, чтобы получить конкретный результат, нужно перейти от общих рассуждений к уравнениям и математическим образам. Самым полезным из таких образов, с помощью которого можно изобразить ход процесса, состояние системы и степень её организованности, оказалось фазовое пространство. Координатами в этом пространстве служат различные параметры, характеризующие рассматриваемую систему. В механике, например, это положения и скорости всех точек, движение которых мы рассматриваем, и поэтому в современной аналитической механике фазовое пространство, пожалуй, основное понятие.

Фазовое пространство – абстрактное математическое пространство, координатами в котором служат положения и скорости всех точек физической системы, и оно удобно для наглядного описания её эволюции. Например, движение шарика на абсолютно упругой резинке, в которой нет трения, полностью определяется начальной скоростью и положением шарика (начальными условиями). Каждому мгновенному состоянию такого осциллятора – колебательной системы – отвечает точка на фазовой плоскости. Когда шарик колеблется вверх и вниз без трения, эта точка описывает замкнутую кривую, а если колебания постепенно затухают, то фазовая траектория сходится по спирали к предельной точке, соответствующей остановке шарика. Эта точка неподвижна: если шарик подтолкнуть, его фазовая кривая вернется в ту же точку, которая как бы притягивает все близлежащие траектории. Поэтому её называют неподвижной притягивающей точкой, или фокусом. Такая притягивающая точка – простейший тип аттрактора.

Фазовое пространство - в классической механике и статистической физике, многомерное пространство всех обобщённых координат q_i и обобщённых импульсов p_i ($i = 1, 2, \dots, N$) механической системы с N степенями свободы. Таким образом, Ф. п. имеет размерность $2N$ и может быть описано с помощью ортогональной системы координат с $2N$ осями соответственно числу обобщённых координат и импульсов. Состояние системы изображается в фазовом пространстве точкой с координатами $q_1, p_1, \dots, q_N, p_N$, а изменение состояния системы во времени – движением точки вдоль линии, называемой фазовой траекторией. Для фазового пространства можно ввести понятие фазового объёма и др. понятия геометрии многих измерений. Понятие фазового пространства – основное для классической статистической механики, изучающей функции распределения системы многих частиц. Методы фазового пространства успешно применяются также в теории нелинейных колебаний.

Важно, что взглянув на «фазовый портрет» физической системы, мы можем сразу понять, находится она в состоянии равновесного или неравновесного порядка. Более того, несмотря на их разную физическую сущность, эти два вида порядка можно изобразить на одной и той же диаграмме в виде чётких точек, линий и фигур. Можно также нарисовать диаграмму перехода из одного упорядоченного состояния в другое. А всегда ли геометрические образы на фазовой диаграмме будут четкими? Оказывается, что существует класс явлений, противоположных порядку как по физической сущности, так и по характеру изображения на фазовой диаграмме. Их образы размыты, нечетки, носят случайный (стохастический) характер. Явления, порождающие такие образы, называются хаотическими.


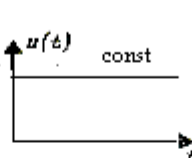
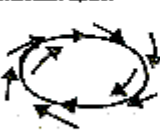
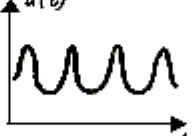
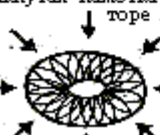
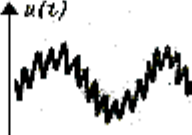

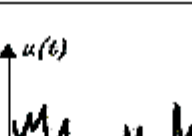
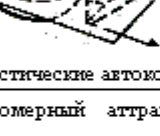
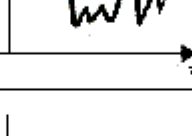

Тип аттрактора	Сигнал	Энтропия	Размерность
<p>Устойчивое равновесие</p> 		$H \sim 0$	$D = 0$ $D = 0$
<p>Предельный цикл</p> 		$H = 0$	$D = 1$
<p>Периодические автоколебания Незамкнутая намотка на двойном торе</p> 		$H = 0$	$D = 2$
<p>Многопериодические колебания Странный аттрактор</p> 		$H > 0$	$D = 2,06$
<p>Стохастические автоколебания Многомерный аттрактор</p> 		$H > 0$	$D \geq 1$ $D \rightarrow n$ $n \rightarrow \infty$
<p>Многомерный хаос</p> 			

Рис. 1. Размерность и энтропия при различных видах движения.

Причиной появления хаоса является неустойчивость по отношению к начальным условиям и параметрам: малое изменение начального условия со временем приводит к сколь угодно большим изменениям динамики системы. По аналогии явлению нерегулярного (хаотического) движения в нелинейных системах был присвоен термин *динамический*, или *детерминированный*, хаос. Наблюдаемое хаотическое поведение возникает не из-за внешних источников шума, не из-за большого числа степеней свободы и не из-за неопределенности, связанной с квантовой механикой. Оно порождается собственной динамикой нелинейной детерминированной системы. В фазовом пространстве системы такому поведению соответствует странный аттрактор. **Аттрактор** (*притягиватель*) - множество траекторий в фазовом пространстве, к которым притягиваются все остальные траектории из некоторой окрестности аттрактора, называемой также *бассейном притяжения*. Термин «странный» используется, чтобы подчеркнуть необычность свойств аттрактора, соответствующего хаотическому поведению. Причиной нерегулярности поведения является свойство нелинейных систем экспоненциально быстро разводить первоначально близкие траектории в ограниченной области фазового пространства. Предсказать поведения траекторий

хаотических систем на длительное время невозможно, поскольку чувствительность к начальным условиям высока, а начальные условия можно задать лишь с конечной точностью.

Аттрактор — множество состояний (точнее — точек фазового пространства) динамической системы, к которому она стремится с течением времени. Наиболее простыми вариантами аттрактора являются притягивающая неподвижная точка (к примеру, в задаче о маятнике с трением о воздух) и периодическая траектория (пример — самовозбуждающиеся колебания в контуре с положительной обратной связью), однако бывают и значительно более сложные примеры.

Странный аттрактор — аттрактор, не являющийся регулярным. Среди странных аттракторов часто встречаются хаотические аттракторы, в которых прогнозирование траектории, попавшей в аттрактор, затруднено, поскольку малая неточность в начальных данных через некоторое время может привести к сильному расхождению прогноза с реальной траекторией. Непредсказуемость траектории в детерминированных динамических системах называют динамическим хаосом, отличая его от *стохастического хаоса*, возникающего в стохастических динамических системах. Это явление также называют эффектом бабочки, подразумевая возможность преобразования слабых турбулентных потоков воздуха, вызванных взмахом крыльев бабочки в одной точке планеты в мощное торнадо на другой её стороне вследствие многократного их усиления в атмосфере за некоторое время.

Важно, что хаотические системы порождают информацию. Дело в том, что прогноз движения вдоль траекторий становится все более и более неопределенным по мере удаления от начальных условий. С точки зрения теории информации это означает, что система сама порождает информацию и скорость создания информации тем выше, чем больше хаотичность системы. Поскольку система создает информацию, то её содержат и траектории системы. Информация запоминается и хранится в виде траекторий динамической системы и обладает свойствами ассоциативности. Эта идея возникла и получила развитие при попытках понять, чем может быть полезен хаос в обработке информации живыми системами.

Первым сильную неустойчивость систем с упругими столкновениями отметил Н.С.Крылов. Бильярдные системы общего типа, характеризующиеся свойством экспоненциальной неустойчивости траектории («бильярды Синая»), введены и изучены Я.Г.Синаем. Существуют два вида энтропии, которые могут служить мерой хаоса: топологическая энтропия и метрическая энтропия (или энтропия Колмогорова–Синая).

Показатель Ляпунова — мера динамики аттрактора. Каждая размерность имеет показатель Ляпунова. Положительный показатель измеряет чувствительность зависимости от начальных условий, или то, насколько наши предсказания могут отклоняться исходя из различных оценок начальных условий. Другой подход к оценке показателей Ляпунова состоит в том, что они характеризуют потерю предсказательной способности при попытке заглянуть в будущее. Странные аттракторы характеризуются, по меньшей мере, одним положительным показателем. Отрицательный показатель измеряет схождение точек. Точечные аттракторы характеризуются всеми отрицательными переменными.

2.2 Диссипативные структуры

С самых ранних дней становления биологии философы и ученые заметили, что живые формы самыми на первый взгляд загадочными способами сочетают устойчивость структуры с гибкостью изменений: «Материя циркулирует, энергия рассеивается». Единственным отходом экосистемы — тепловая энергия дыхания: она рассеивается в атмосфере и непрерывно пополняется через фотосинтез за счет солнечного излучения. Понимание живых структур как открытых систем было важным новым подходом, который, однако, не решил загадку сосуществования структуры и изменения, порядка и рассеяния, пока Илья Пригожин не сформулировал свою теорию диссипативных структур. Как Бергаланфи объединил понятия потока и равновесия для описания открытых систем, так и Пригожин объединил «диссипацию» (рассеяние) и «структуру», чтобы выразить две кажущиеся противоречивыми тенденции, которые сосуществуют во всех живых системах. Однако концепция диссипативных структур Пригожина идет гораздо дальше теории открытых систем, поскольку включает также представление о точках неустойчивости, в которых могут возникать новые структуры и новые формы порядка. Теория Пригожина связывает главные характеристики живых форм в последовательную концептуальную и математическую модель, которая предполагает радикальный пересмотр многих фундаментальных идей, касающихся структуры — переносит акцент от устойчивости к неустойчивости, от порядка к неупорядоченности, от равновесия к неравновесным состояниям, от бытия к становлению.

Ключ к пониманию диссипативных структур лежит в осознании того, что они поддерживают себя в устойчивом состоянии, далеко от равновесия. Живой организм характеризуется непрерывным потоком и изменениями в обмене веществ, включающем тысячи химических реакций. Химическое и тепловое равновесие наступает тогда, когда все эти процессы прекращаются. Другими словами, организм в состоянии равновесия — это мертвый организм. Живые организмы непрерывно поддерживают себя в далеком от равновесия состоянии, которое, по сути, есть состояние жизни. Сильно отличаясь от равновесия, это

состояние, тем не менее, сохраняет устойчивость в течение продолжительных периодов времени, что означает поддержание одной общей структуры, несмотря на непрекращающийся поток и изменение компонентов.

Пригожин понял, что классическая термодинамика - первая наука, трактующая сложные системы, - не подходит для описания далеких от равновесия систем из-за линейной природы её математической структуры. Система всегда развивается в сторону стационарного состояния, в котором генерация энтропии (или беспорядка) сведена к минимуму. Система минимизирует свои потоки, функционируя предельно близко к состоянию равновесия. В этом диапазоне потоковые процессы описываются линейными уравнениями. Чем дальше от равновесия, тем потоки становятся сильнее, увеличивается выработка энтропии, и тогда система больше не стремится к равновесию. Наоборот, здесь уже могут встретиться неустойчивости, ведущие к новым формам порядка, которые отодвигают систему все дальше и дальше от состояния равновесия, т.е. вдали от равновесия диссипативные структуры могут развиваться в формы все более возрастающей сложности. Вдали от равновесия потоковые процессы в системе взаимосвязаны через многочисленные петли обратной связи, а соответствующие математические уравнения нелинейны. Чем дальше диссипативная структура от равновесия, тем выше степень сложности и нелинейности описывающих её математических уравнений.

Учитывая критическую связь между неравновесным состоянием и нелинейностью, Пригожий разработал нелинейную термодинамику для далеких от равновесия систем, используя для этого аппарат теории динамических систем - новую математику сложных систем. Он показал, что системы в линейном диапазоне «склонны забывать свои начальные условия». За пределами линейного диапазона ситуация совершенно другая. Нелинейные уравнения имеют больше чем одно решение; чем выше степень нелинейности, тем больше решений. Это означает, что новые ситуации могут возникать в любой момент: система в этом случае попадает в точку бифуркации, где может отклониться в совершенно другое состояние. Поведение системы в точке бифуркации (т.е. по какому из нескольких возможных направлений она пойдёт) зависит от предыдущей истории системы. В нелинейном диапазоне начальные условия уже «не забываются». Поведение далекой от равновесия диссипативной структуры не подчиняется ни одному из универсальных законов; оно уникально для данной системы. Вблизи точки равновесия мы находим повторяющиеся феномены и универсальные законы. По мере удаления от равновесия, мы движемся от универсального к уникальному, в направлении богатства и разнообразия. Это, конечно, хорошо известная характеристика жизни.

Наличие точек бифуркации, в которых система может пойти по любому из нескольких различных направлений, предполагает, что неопределенность является ещё одной характеристикой теории Пригожина. В точке бифуркации система может сделать «выбор» между несколькими возможными направлениями, или состояниями. Какое направление она выберет, будет зависеть от истории системы и различных внешних условий и никогда не может быть предсказано. В каждой точке бифуркации существует неустранимый элемент случайности. Неопределенность в точках бифуркации представляет собой один из двух типов непредсказуемости в теории диссипативных структур. Другой тип, характерный также для теории хаоса, обусловлен высокой степенью нелинейности уравнений и проявляется даже тогда, когда бифуркации отсутствуют. Из-за многократных петель обратной связи итераций - мельчайшая погрешность в вычислениях, вызванная практической необходимостью определенного округления цифр, неизбежно значительно повышает степень неопределенности, делая предсказания невозможными. Как неопределенность в точках бифуркации, так и неопределенность «хаотического типа» из-за повторяющихся итераций предполагают, что поведение диссипативной структуры может быть предсказано лишь на короткий промежуток времени. После этого системная траектория ускользает от нас.

По Пригожину, признание неопределенности как ключевой характеристики естественных феноменов является частью серьезного пересмотра научной концептуальности. Тесно связан с этим концептуальный сдвиг и в научных представлениях о необратимости и времени.

В механистической парадигме ньютоновской науки мир рассматривался как полностью причинный и детерминированный. Все, что происходило, имело определенную причину и приводило к определенному следствию. Будущее любой части системы, равно как и её прошлое, в принципе, могло быть рассчитано с абсолютной определенностью, если состояние этой системы в любой данный момент времени известно во всех подробностях.

В этом лапласианском детерминизме не делается различия между прошлым и будущим. И то и другое заложено в настоящем состоянии мира и в ньютоновых уравнениях движения. Все процессы здесь строго обратимы. Будущее и прошлое чередуются, здесь нет места истории, новаторству или творчеству.

Необратимые эффекты (например, трение) отмечались в классической ньютоновской физике, но ими всегда пренебрегали. В XIX столетии ситуация изменилась решительным образом. С изобретением тепловых двигателей необратимость рассеяния энергии при трении, вязкость (сопротивление жидкости течению) и тепловые потери оказались в центре внимания новой науки термодинамики, которая выдвинула идею стрелы времени. В это же время геологи, биологи, философы и поэты начали размышлять над изменением, ростом, развитием и эволюцией.

В классической термодинамике необратимость, при всей своей важности как понятия, всегда ассоциировалась с рассеянием энергии и потерями. Пригожий фундаментально изменил такой подход в своей теории диссипативных структур, показав, что в живых системах, функционирующих вдали от равновесия, необратимые процессы играют конструктивную и важную роль.

Химические реакции - базовые процессы жизни - являются примером необратимых процессов. В ньютоновском мире не может быть ни химии, ни жизни. Теория Пригожина показывает, как каталитические петли - особого типа химические процессы, исключительно важные для живых организмов, - приводят к состояниям неустойчивости через многократную усиливающую обратную связь и как в последовательных точках бифуркации возникают структуры постоянно нарастающей сложности. «Необратимость, - заключает Пригожий, - есть механизм извлечения порядка из хаоса».

Теория Пригожина означает переход от детерминированных, обратимых процессов к неопределенным, необратимым.

Стрела времени, как она представляется в классической термодинамике, не указывает на возрастающий порядок, она направлена в противоположную сторону. Согласно второму закону термодинамики, физические феномены проявляют тенденцию к движению от порядка к беспорядку, в сторону непрерывно возрастающей энтропии. Пригожин разрешил парадокс двух противоречивых взглядов на эволюцию - физического и биологического: один представляет идею глохнущего мотора, другой описывает мир, эволюционирующий в сторону возрастающего порядка и сложности. По его теории второй закон термодинамики всё ещё верен, но взаимосвязь между энтропией и беспорядком уже видится в новом свете. Согласно второму закону термодинамики, энтропия нарастает, по мере того как продолжается тепловой процесс; рассеянная энергия никогда не может быть восстановлена, а направление в сторону непрерывно нарастающей энтропии определяет стрелу времени. Но что конкретно вызывает эту необратимость? В ньютоновской физике эффектами трения пренебрегали, считая их не существенными. Но при желании эти эффекты можно учесть и в ньютоновской системе: можно использовать ньютоновы законы движения для описания рассеяния энергии на молекулярном уровне в форме каскадов столкновений. Каждое из этих столкновений - обратимое событие, поэтому нет ничего невозможного в том, чтобы запустить этот процесс в обратном направлении. Тогда получается, что рассеяние энергии, необратимое на макроскопическом уровне и отвечающее второму закону и обычному опыту, состоит из полностью обратимых событий на микроскопическом уровне. Где же здесь, в таком случае, вкрадывается необратимость? На этот вопрос ответил Больцман, который вложил новый смысл в понятие энтропии и установил связь между энтропией и порядком.

Представьте, что мы наполняем мешок двумя видами песка - нижнюю половину чёрным песком, а верхнюю белым. Это состояние высокого порядка; здесь существует лишь одна возможная комплексия. Затем мы встряхиваем мешок, чтобы смешать частицы песка. По мере того как белый и чёрный песок смешиваются все больше и больше, число возможных комплексий возрастает, а вместе с ней и степень

беспорядка, пока мы не получим однородную смесь, состоящую из серого песка, - и максимальный беспорядок.

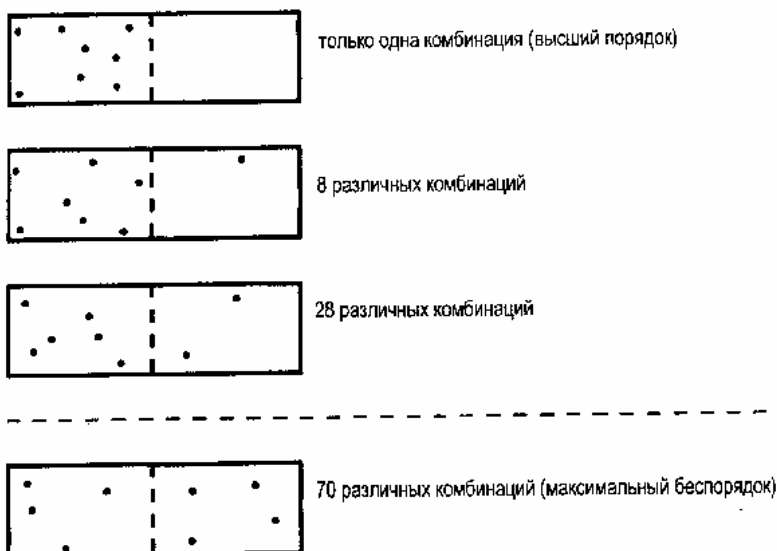


Рис. 2. Мысленный эксперимент Больцмана

Введя такое определение порядка, Больцман смог анализировать поведение молекул в газе. Используя статистические методы, разработанные Максвеллом для описания беспорядочного движения молекул, Больцман отметил, что число возможных комплексий любого состояния является мерой вероятности того, что газ окажется в этом состоянии. Чем больше комплексий

существует для определенной комбинации, тем больше вероятность того, что это состояние установится в газе при беспорядочном движении молекул. Число возможных комплексов для определенной комбинации молекул измеряет как степень порядка этого состояния, так и вероятность его установления. Чем выше число комплексов, тем больше беспорядок и выше вероятность того, что газ окажется в этом состоянии. Так Больцман пришел к выводу, что движение от порядка к беспорядку есть движение от менее вероятного состояния к более вероятному. Выражая энтропию и беспорядок через число комплексов, он ввел определение энтропии на языке вероятностных представлений.

Согласно Больцману, не существует физического закона, который запрещал бы движение от беспорядка к порядку, но, в силу беспорядочного движения молекул, такое направление весьма маловероятно. Чем больше молекул, тем выше вероятность движения от порядка к беспорядку, а при огромном количестве частиц в газе, эта вероятность практически превращается в определенность. Когда вы трясете мешок с белым и черным песком, вы можете наблюдать, как два типа песчинок разделяются прямо-таки волшебным способом, образуя высокоупорядоченное состояние полного разделения. Но вам придется трясти мешок в течение нескольких миллионов лет, чтобы это событие произошло.

На языке Больцмана второй закон термодинамики означает, что любая закрытая система стремится к максимально вероятному состоянию, которое представляет собой состояние максимального беспорядка. Как только равновесие достигнуто, система стремится его покинуть. Временами беспорядочное движение молекул может создавать различные состояния, но они близки к равновесию и существуют лишь в течение коротких периодов времени. Другими словами, система просто флуктуирует (беспорядочно колеблется) вокруг состояния теплового равновесия.

Классическая термодинамика пригодна для описания феноменов в состоянии равновесия или близком к равновесию. Пригожинская теория диссипативных структур применима к далеким от равновесия термодинамическим феноменам, когда молекулы находятся не в беспорядочном движении, но взаимосвязаны через многочисленные петли обратной связи, описываемые нелинейными уравнениями. В этих уравнениях уже не доминируют точечные аттракторы, а это означает, что система более не стремится к равновесию. Диссипативная структура поддерживает себя вдали от равновесия и может даже уходить все дальше и дальше от него через последовательные бифуркации. В точках бифуркации состояния высшего порядка (в больцмановском смысле) могут возникать спонтанно. Тем не менее, это не противоречит второму закону термодинамики. Полная энтропия системы продолжает увеличиваться, но это увеличение энтропии неэквивалентно сплошному увеличению беспорядка. В живом мире порядок и беспорядок всегда создаются одновременно.

По Пригожину, диссипативные структуры - это островки порядка в море беспорядка, поддерживающие и даже повышающие свой порядок за счёт увеличения беспорядка в окружающей среде. Например, живые организмы забирают упорядоченные структуры (пищу) из окружающей среды, используют их как ресурсы для своих метаболических процессов и рассеивают их как структуры низшего порядка (отходы). Как говорит Пригожин, «порядок парит в беспорядке»; при этом общая энтропия продолжает возрастать в соответствии со вторым законом термодинамики. Это представление о порядке и беспорядке радикально переворачивает традиционные научные понятия. В классическом понимании порядок эквивалентен равновесию, как, например, в кристаллах и других статических структурах, а беспорядок - неравновесным состояниям, таким как вихри. Новая наука сложных систем, черпающая вдохновение из паутины жизни, показывает, что неравновесное состояние - это источник порядка. Турбулентные потоки воды и воздуха, выглядя хаотическими, на самом деле обладают высокой организацией и сложными паттернами, в которых вихри делятся снова и снова во все более мелких масштабах. В живых системах порядок, возникающий из неравновесных состояний, ещё более очевиден; он выражает себя в богатстве, разнообразии и красоте жизни вокруг нас. Во всем живом мире хаос преобразуется в порядок.

Точки неустойчивости, в которых происходят непредсказуемые драматические события, где спонтанно возникает порядок и разворачивается скрытая ранее сложность, представляют самый замечательный аспект теории диссипативных структур. До Пригожина единственным типом неустойчивости, который изучался, была турбулентность, вызываемая внутренним трением текущей жидкости или газа. Было показано, что любой поток воды или воздуха становится турбулентным при достаточно высокой скорости - т. е. при достаточно большом «удалении» от равновесия (неподвижного состояния). Исследования Пригожина показали, что для химических реакций это неверно. Химическая неустойчивость не возникает автоматически вдали от равновесия. Для этого необходимы каталитические петли: они подводят систему к точке неустойчивости через многократную усиливающую (положительную) обратную связь. В этих процессах объединяются два различных феномена - химические реакции и диффузия

(физический поток молекул, вызванный разностью концентраций). Описывающие их нелинейные уравнения называются уравнениями реакционной диффузии. Они формируют математическую основу теории, позволяющую описывать большой диапазон типов поведения. Точка бифуркации - порог устойчивости, где диссипативная структура может либо разрушиться, либо прорваться к одному из нескольких новых состояний порядка. Что на самом деле происходит в этой критической точке, зависит от предыдущей истории системы. В зависимости от того, каким путём она достигла точки неустойчивости, она направится по той или иной ветке после точки бифуркации. Эта важная роль истории диссипативной структуры в критических точках её развития, обнаруженная даже в простых химических колебаниях является физическим началом характерной для всех живых систем связи между структурой и историей. Живая структура всегда является записью своего предыдущего развития. В точке бифуркации диссипативная структура проявляет исключительную чувствительность к малейшим флуктуациям в окружающей среде. Незначительное случайное отклонение, часто называемое «шумом», может определить выбор направления. Поскольку все живые системы существуют в непрерывно флуктуирующей среде и поскольку невозможно узнать, какое отклонение произойдет в точке бифуркации в «тот самый» момент, мы никогда не можем предсказать будущее направление развития системы. Таким образом, все детерминистские описания оказываются несостоятельными, когда диссипативная структура проходит точку бифуркации. Ничтожные отклонения в окружающей среде определяют выбор ветви, по которой эта структура последует. Именно эти случайные отклонения приводят к возникновению новых форм порядка. Пригожин ввёл описательный термин порядок через флуктуации. Уравнения его теории - детерминистские уравнения. Они управляют поведением системы на отрезках между точками бифуркации; что касается точек неустойчивости, то здесь решающими оказываются флуктуации - небольшие случайные отклонения. «Процессы самоорганизации в далеких от равновесия условиях соответствуют тонкому взаимодействию между случайностью и необходимостью, между флуктуациями и детерминистскими законами».

Теория Пригожина включает несколько тесно взаимосвязанных идей. Описание диссипативных структур, которые существуют вдали от равновесия, требует нелинейного математического аппарата, способного моделировать множественные взаимосвязанные циклы обратной связи. В живых организмах, это каталитические циклы (т. е. нелинейные, необратимые химические процессы), которые приводят к точкам неустойчивости через повторяющуюся самоусиливающую обратную связь. Когда диссипативная структура достигает такой точки неустойчивости, называемой точкой бифуркации, в теории появляется элемент неопределенности. В точке бифуркации поведению системы свойственна непредсказуемость. В частности, здесь могут спонтанно возникнуть новые структуры высшего порядка и сложности. Самоорганизация, спонтанное возникновение порядка, служит результатом комплексного эффекта неравновесия, необратимости, циклов обратной связи и неустойчивости. Ключевые характеристики диссипативных структур - чувствительность к малым изменениям в окружающей среде, важность предыдущей истории в критических точках выбора, неопределенность и непредсказуемость будущего - революционные концепции с точки зрения классической науки, однако служат частью человеческого опыта. Поскольку диссипативные структуры - базовые структуры всех живых систем, включая и человеческие существа, это не должно вызывать удивления.

Вместо того чтобы быть машиной, природа в целом оказывается более подобной человеку - непредсказуемая, чувствительная к окружающему миру, подверженная влиянию малейших отклонений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя материал, собранный для никому не нужного курса лекций, сделаю одно замечание.

За время своего существования наука информатика накопила четыре типа энтропий: это - физическая (в двух ипостасях – термодинамическая и статистическая), техническая, смысловая и алгоритмическая (есть и более экзотические энтропии, но до них у меня руки не дошли) энтропии. Каждой из этих энтропий можно сопоставить свою информацию. При этом информация выступает, как мера порядка системы, а энтропия – её беспорядка. Являются ли все перечисленные виды информации проявлениями одной и той же сущности, есть ли между ними хоть что-то общее, или это понятия абсолютно разные, лишь по недоразумению названные одним и тем же именем – науке неизвестно. Оптимисты полагают, что не пройдет и сто лет, как мы с этим разберемся.

Флаг вам в руки, ребята!

ПРИЛОЖЕНИЕ

Федеральный Закон от 27.07.2006 N 149-ФЗ «ОБ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ И О ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ» (принят ГД ФС РФ 08.07.2006, Одобрен Советом Федерации 15.04.2007).

27 июля 2006 года N149-ФЗ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН

ОБ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ И О ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ

Принят Государственной Думой 8 июля 2006 года.

Одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 года.

Статья 1. Сфера действия настоящего Федерального закона

1. Настоящий Федеральный закон регулирует отношения, возникающие при:

- 1) осуществлении права на поиск, получение, передачу, производство и распространение информации;
- 2) применении информационных технологий;
- 3) обеспечении защиты информации.

2. Положения настоящего Федерального закона не распространяются на отношения, возникающие при правовой охране результатов интеллектуальной деятельности и приравненных к ним средств индивидуализации.

Статья 2. Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе

В настоящем Федеральном законе используются следующие основные понятия:

- 1) информация – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления;
- 2) информационные технологии - процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов;
- 3) информационная система – совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих её обработку информационных технологий и технических средств;
- 4) информационно-телекоммуникационная сеть – технологическая система, предназначенная для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники;
- 5) обладатель информации - лицо, самостоятельно создавшее информацию либо получившее на основании закона или договора право разрешать или ограничивать доступ к информации, определяемой по каким-либо признакам;
- 6) доступ к информации – возможность получения информации и её использования;
- 7) конфиденциальность информации – обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия её обладателя;
- 8) предоставление информации - действия, направленные на получение информации определенным кругом лиц или передачу информации определенному кругу лиц;
- 9) распространение информации - действия, направленные на получение информации неопределенным кругом лиц или передачу информации неопределенному кругу лиц;
- 10) электронное сообщение - информация, переданная или полученная пользователем информационно-телекоммуникационной сети;
- 11) документированная информация – зафиксированная на материальном носителе путём документирования информация с реквизитами, позволяющими определить такую информацию или в установленных законодательством Российской Федерации случаях её материальный носитель;
- 12) оператор информационной систем – гражданин или юридическое лицо, осуществляющие деятельность по эксплуатации информационной системы, в том числе по обработке информации, содержащейся в её базах данных.

Статья 3. Принципы правового регулирования отношений в сфере информации, информационных технологий и защиты информации

Правовое регулирование отношений, возникающих в сфере информации, информационных технологий и защиты информации, основывается на следующих принципах:

- 1) свобода поиска, получения, передачи, производства и распространения информации любым законным способом;
- 2) установление ограничений доступа к информации только федеральными законами;
- 3) открытость информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления и свободный доступ к такой информации, кроме случаев, установленных федеральными законами;

- 4) равноправие языков народов Российской Федерации при создании информационных систем и их эксплуатации;
- 5) обеспечение безопасности Российской Федерации при создании информационных систем, их эксплуатации и защите содержащейся в них информации;
- 6) достоверность информации и своевременность её предоставления;
- 7) неприкосновенность частной жизни, недопустимость сбора, хранения, использования и распространения информации о частной жизни лица без его согласия;
- 8) недопустимость установления нормативными правовыми актами каких-либо преимуществ применения одних информационных технологий перед другими, если только обязательность применения определенных информационных технологий для создания и эксплуатации государственных информационных систем не установлена федеральными законами.

Статья 4. Законодательство Российской Федерации об информации, информационных технологиях и о защите информации

1. Законодательство Российской Федерации об информации, информационных технологиях и о защите информации основывается на Конституции Российской Федерации, международных договорах Российской Федерации и состоит из настоящего Федерального закона и других регулирующих отношения по использованию информации федеральных законов.
2. Правовое регулирование отношений, связанных с организацией и деятельностью средств массовой информации, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о средствах массовой информации.
3. Порядок хранения и использования включенной в состав архивных фондов документированной информации устанавливается законодательством об архивном деле в Российской Федерации.

Статья 5. Информация как объект правовых отношений

1. Информация может являться объектом публичных, гражданских и иных правовых отношений. Информация может свободно использоваться любым лицом и передаваться одним лицом другому лицу, если федеральными законами не установлены ограничения доступа к информации либо иные требования к порядку её предоставления или распространения.
2. Информация в зависимости от категории доступа к ней подразделяется на общедоступную информацию, а также на информацию, доступ к которой ограничен федеральными законами (информация ограниченного доступа).
3. Информация в зависимости от порядка её предоставления или распространения подразделяется на:
 - 1) информацию, свободно распространяемую;
 - 2) информацию, предоставляемую по соглашению лиц, участвующих в соответствующих отношениях;
 - 3) информацию, которая в соответствии с федеральными законами подлежит предоставлению или распространению;
 - 4) информацию, распространение которой в Российской Федерации ограничивается или запрещается.
4. Законодательством Российской Федерации могут быть установлены виды информации в зависимости от её содержания или обладателя.

Статья 6. Обладатель информации

1. Обладателем информации может быть гражданин (физическое лицо), юридическое лицо, Российская Федерация, субъект Российской Федерации, муниципальное образование.
2. От имени Российской Федерации, субъекта Российской Федерации, муниципального образования правомочия обладателя информации осуществляются соответственно государственными органами и органами местного самоуправления в пределах их полномочий, установленных соответствующими нормативными правовыми актами.
3. Обладатель информации, если иное не предусмотрено федеральными законами, вправе:
 - 1) разрешать или ограничивать доступ к информации, определять порядок и условия такого доступа;
 - 2) использовать информацию, в том числе распространять её, по своему усмотрению;
 - 3) передавать информацию другим лицам по договору или на ином установленном законом основании;
 - 4) защищать установленными законом способами свои права в случае незаконного получения информации или её незаконного использования иными лицами;
 - 5) осуществлять иные действия с информацией или разрешать осуществление таких действий.
4. Обладатель информации при осуществлении своих прав обязан:
 - 1) соблюдать права и законные интересы иных лиц;
 - 2) принимать меры по защите информации;
 - 3) ограничивать доступ к информации, если такая обязанность установлена федеральными

законами.

Статья 7. Общедоступная информация

1. К общедоступной информации относятся общеизвестные сведения и иная информация, доступ к которой не ограничен.
2. Общедоступная информация может использоваться любыми лицами по их усмотрению при соблюдении установленных федеральными законами ограничений в отношении распространения такой информации.
3. Обладатель информации, ставшей общедоступной по его решению, вправе требовать от лиц, распространяющих такую информацию, указывать себя в качестве источника такой информации.

Статья 8. Право на доступ к информации

1. Граждане (физические лица) и организации (юридические лица) (далее - организации) вправе осуществлять поиск и получение любой информации в любых формах и из любых источников при условии соблюдения требований, установленных настоящим Федеральным законом и другими федеральными законами.
2. Гражданин (физическое лицо) имеет право на получение от государственных органов, органов местного самоуправления, их должностных лиц в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, информации, непосредственно затрагивающей его права и свободы.
3. Организация имеет право на получение от государственных органов, органов местного самоуправления информации, непосредственно касающейся прав и обязанностей этой организации, а также информации, необходимой в связи с взаимодействием с указанными органами при осуществлении этой организацией своей уставной деятельности.
4. Не может быть ограничен доступ к:
 - 1) нормативным правовым актам, затрагивающим права, свободы и обязанности человека и гражданина, а также устанавливающим правовое положение организации и полномочия государственных органов, органов местного самоуправления;
 - 2) информации о состоянии окружающей среды;
 - 3) информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления, а также об использовании бюджетных средств (за исключением сведений, составляющих государственную или служебную тайну);
 - 4) информации, накапливаемой в открытых фондах библиотек, музеев и архивов, а также в государственных, муниципальных и иных информационных системах, созданных или предназначенных для обеспечения граждан (физических лиц) и организаций такой информацией;
 - 5) иной информации, недопустимость ограничения доступа к которой установлена федеральными законами.
5. Государственные органы и органы местного самоуправления обязаны обеспечивать доступ к информации о своей деятельности на русском языке и государственном языке соответствующей республики в составе Российской Федерации в соответствии с федеральными законами, законами субъектов Российской Федерации и нормативными правовыми актами органов местного самоуправления. Лицо, желающее получить доступ к такой информации, не обязано обосновывать необходимость её получения.
6. Решения и действия (бездействие) государственных органов и органов местного самоуправления, общественных объединений, должностных лиц, нарушающие право на доступ к информации, могут быть обжалованы в вышестоящий орган или вышестоящему должностному лицу либо в суд.
7. В случае, если в результате неправомерного отказа в доступе к информации, несвоевременного её предоставления, предоставления заведомо недостоверной или не соответствующей содержанию запроса информации были причинены убытки, такие убытки подлежат возмещению в соответствии с гражданским законодательством.
8. Предоставляется бесплатно информация:
 - 1) о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления, размещенная такими органами в информационно-телекоммуникационных сетях;
 - 2) затрагивающая права и установленные законодательством Российской Федерации обязанности заинтересованного лица;
 - 3) иная установленная законом информация.
9. Установление платы за предоставление государственным органом или органом местного самоуправления информации о своей деятельности возможно только в случаях и на условиях, которые установлены федеральными законами.

Статья 9. Ограничение доступа к информации

1. Ограничение доступа к информации устанавливается федеральными законами в целях защиты основ конституционного строя, нравственности, здоровья, прав и законных интересов других лиц, обеспечения обороны страны и безопасности государства.
2. Обязательным является соблюдение конфиденциальности информации, доступ к которой ограничен федеральными законами.
3. Защита информации, составляющей государственную тайну, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне.
4. Федеральными законами устанавливаются условия отнесения информации к сведениям, составляющим коммерческую тайну, служебную тайну и иную тайну, обязательность соблюдения конфиденциальности такой информации, а также ответственность за её разглашение.
5. Информация, полученная гражданами (физическими лицами) при исполнении ими профессиональных обязанностей или организациями при осуществлении ими определенных видов деятельности (профессиональная тайна), подлежит защите в случаях, если на эти лица федеральными законами возложены обязанности по соблюдению конфиденциальности такой информации.
6. Информация, составляющая профессиональную тайну, может быть предоставлена третьим лицам в соответствии с федеральными законами и (или) по решению суда.
7. Срок исполнения обязанностей по соблюдению конфиденциальности информации, составляющей профессиональную тайну, может быть ограничен только с согласия гражданина (физического лица), предоставившего такую информацию о себе.
8. Запрещается требовать от гражданина (физического лица) предоставления информации о его частной жизни, в том числе информации, составляющей личную или семейную тайну, и получать такую информацию помимо воли гражданина (физического лица), если иное не предусмотрено федеральными законами.
9. Порядок доступа к персональным данным граждан (физических лиц) устанавливается федеральным законом о персональных данных.

Статья 10. Распространение информации или предоставление информации

1. В Российской Федерации распространение информации осуществляется свободно при соблюдении требований, установленных законодательством Российской Федерации.
2. Информация, распространяемая без использования средств массовой информации, должна включать в себя достоверные сведения о её обладателе или об ином лице, распространяющем информацию, в форме и в объеме, которые достаточны для идентификации такого лица.
3. При использовании для распространения информации средств, позволяющих определять получателей информации, в том числе почтовых отправлений и электронных сообщений, лицо, распространяющее информацию, обязано обеспечить получателю информации возможность отказа от такой информации.
4. Предоставление информации осуществляется в порядке, который устанавливается соглашением лиц, участвующих в обмене информацией.
5. Случаи и условия обязательного распространения информации или предоставления информации, в том числе предоставление обязательных экземпляров документов, устанавливаются федеральными законами.
6. Запрещается распространение информации, которая направлена на пропаганду войны, разжигание национальной, расовой или религиозной ненависти и вражды, а также иной информации, за распространение которой предусмотрена уголовная или административная ответственность.

Статья 11. Документирование информации

1. Законодательством Российской Федерации или соглашением сторон могут быть установлены требования к документированию информации.
2. В федеральных органах исполнительной власти документирование информации осуществляется в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации. Правила делопроизводства и документооборота, установленные иными государственными органами, органами местного самоуправления в пределах их компетенции, должны соответствовать требованиям, установленным Правительством Российской Федерации в части делопроизводства и документооборота для федеральных органов исполнительной власти.
3. Электронное сообщение, подписанное электронной цифровой подписью или иным аналогом собственноручной подписи, признается электронным документом, равнозначным документу, подписанному собственноручной подписью, в случаях, если федеральными законами или иными нормативными правовыми актами не устанавливается или не подразумевается требование о составлении такого документа на бумажном носителе.

4. В целях заключения гражданско-правовых договоров или оформления иных правоотношений, в которых участвуют лица, обменивающиеся электронными сообщениями, обмен электронными сообщениями, каждое из которых подписано электронной цифровой подписью или иным аналогом собственноручной подписи отправителя такого сообщения, в порядке, установленном федеральными законами, иными нормативными правовыми актами или соглашением сторон, рассматривается как обмен документами.

5. Право собственности и иные вещные права на материальные носители, содержащие документированную информацию, устанавливаются гражданским законодательством.

Статья 12. Государственное регулирование в сфере применения информационных технологий

1. Государственное регулирование в сфере применения информационных технологий предусматривает:

1) регулирование отношений, связанных с поиском, получением, передачей, производством и распространением информации с применением информационных технологий (информатизации), на основании принципов, установленных настоящим Федеральным законом;

2) развитие информационных систем различного назначения для обеспечения граждан (физических лиц), организаций, государственных органов и органов местного самоуправления информацией, а также обеспечение взаимодействия таких систем;

3) создание условий для эффективного использования в Российской Федерации информационно-телекоммуникационных сетей, в том числе сети "Интернет" и иных подобных информационно-телекоммуникационных сетей.

2. Государственные органы, органы местного самоуправления в соответствии со своими полномочиями:

1) участвуют в разработке и реализации целевых программ применения информационных технологий;

2) создают информационные системы и обеспечивают доступ к содержащейся в них информации на русском языке и государственном языке соответствующей республики в составе Российской Федерации.

Статья 13. Информационные системы

1. Информационные системы включают в себя:

1) государственные информационные системы – федеральные информационные системы и региональные информационные системы, созданные на основании соответственно федеральных законов, законов субъектов Российской Федерации, на основании правовых актов государственных органов;

2) муниципальные информационные системы, созданные на основании решения органа местного самоуправления;

3) иные информационные системы.

2. Если иное не установлено федеральными законами, оператором информационной системы является собственник используемых для обработки содержащейся в базах данных информации технических средств, который правомерно пользуется такими базами данных, или лицо, с которым этот собственник заключил договор об эксплуатации информационной системы.

3. Права обладателя информации, содержащейся в базах данных информационной системы, подлежат охране независимо от авторских и иных прав на такие базы данных.

4. Установленные настоящим Федеральным законом требования к государственным информационным системам распространяются на муниципальные информационные системы, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации о местном самоуправлении.

5. Особенности эксплуатации государственных информационных систем и муниципальных информационных систем могут устанавливаться в соответствии с техническими регламентами, нормативными правовыми актами государственных органов, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, принимающих решения о создании таких информационных систем.

6. Порядок создания и эксплуатации информационных систем, не являющихся государственными информационными системами или муниципальными информационными системами, определяется операторами таких информационных систем в соответствии с требованиями, установленными настоящим Федеральным законом или другими федеральными законами.

Статья 14. Государственные информационные системы

1. Государственные информационные системы создаются в целях реализации полномочий государственных органов и обеспечения обмена информацией между этими органами, а также в иных установленных федеральными законами целях.

2. Государственные информационные системы создаются с учетом требований, предусмотренных Федеральным законом от 21 июля 2005 года №94-ФЗ о размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд".

3. Государственные информационные системы создаются и эксплуатируются на основе статистической и иной документированной информации, предоставляемой гражданами (физическими лицами), организациями, государственными органами, органами местного самоуправления.
4. Перечни видов информации, предоставляемой в обязательном порядке, устанавливаются федеральными законами, условия её предоставления – Правительством Российской Федерации или соответствующими государственными органами, если иное не предусмотрено федеральными законами.
5. Если иное не установлено решением о создании государственной информационной системы, функции её оператора осуществляются заказчиком, заключившим государственный контракт на создание такой информационной системы. При этом ввод государственной информационной системы в эксплуатацию осуществляется в порядке, установленном указанным заказчиком.
6. Правительство Российской Федерации вправе устанавливать обязательные требования к порядку ввода в эксплуатацию отдельных государственных информационных систем.
7. Не допускается эксплуатация государственной информационной системы без надлежащего оформления прав на использование её компонентов, являющихся объектами интеллектуальной собственности.
8. Технические средства, предназначенные для обработки информации, содержащейся в государственных информационных системах, в том числе программно-технические средства и средства защиты информации, должны соответствовать требованиям законодательства Российской Федерации о техническом регулировании.
9. Информация, содержащаяся в государственных информационных системах, а также иные имеющиеся в распоряжении государственных органов сведения и документы являются государственными информационными ресурсами.

Статья 15. Использование информационно-телекоммуникационных сетей

1. На территории Российской Федерации использование информационно-телекоммуникационных сетей осуществляется с соблюдением требований законодательства Российской Федерации в области связи, настоящего Федерального закона и иных нормативных правовых актов Российской Федерации.
2. Регулирование использования информационно-телекоммуникационных сетей, доступ к которым не ограничен определенным кругом лиц, осуществляется в Российской Федерации с учетом общепринятой международной практики деятельности саморегулируемых организаций в этой области. Порядок использования иных информационно-телекоммуникационных сетей определяется владельцами таких сетей с учётом требований, установленных настоящим Федеральным законом.
3. Использование на территории Российской Федерации информационно-телекоммуникационных сетей в хозяйственной или иной деятельности не может служить основанием для установления дополнительных требований или ограничений, касающихся регулирования указанной деятельности, осуществляемой без использования таких сетей, а также для несоблюдения требований, установленных федеральными законами.
4. Федеральными законами может быть предусмотрена обязательная идентификация личности, организаций, использующих информационно-телекоммуникационную сеть при осуществлении предпринимательской деятельности. При этом получатель электронного сообщения, находящийся на территории Российской Федерации, вправе провести проверку, позволяющую установить отправителя электронного сообщения, а в установленных федеральными законами или соглашением сторон случаях обязан провести такую проверку.
5. Передача информации посредством использования информационно-телекоммуникационных сетей осуществляется без ограничений при условии соблюдения установленных федеральными законами требований к распространению информации и охране объектов интеллектуальной собственности. Передача информации может быть ограничена только в порядке и на условиях, которые установлены федеральными законами.
6. Особенности подключения государственных информационных систем к информационно-телекоммуникационным сетям могут быть установлены нормативным правовым актом Президента Российской Федерации или нормативным правовым актом Правительства Российской Федерации.

Статья 16. Защита информации

1. Защита информации представляет собой принятие правовых, организационных и технических мер, направленных на:
 - 1) обеспечение защиты информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения, а также от иных неправомерных действий в отношении такой информации;
 - 2) соблюдение конфиденциальности информации ограниченного доступа;
 - 3) реализацию права на доступ к информации.

2. Государственное регулирование отношений в сфере защиты информации осуществляется путем установления требований о защите информации, а также ответственности за нарушение законодательства Российской Федерации об информации, информационных технологиях и о защите информации.

3. Требования о защите общедоступной информации могут устанавливаться только для достижения целей, указанных в пунктах 1 и 3 части 1 настоящей статьи.

4. Владелец информации, оператор информационной системы в случаях, установленных законодательством Российской Федерации, обязаны обеспечить:

1) предотвращение несанкционированного доступа к информации и (или) передачи её лицам, не имеющим права на доступ к информации;

2) своевременное обнаружение фактов несанкционированного доступа к информации;

3) предупреждение возможности неблагоприятных последствий нарушения порядка доступа к информации;

4) недопущение воздействия на технические средства обработки информации, в результате которого нарушается их функционирование;

5) возможность незамедлительного восстановления информации, модифицированной или уничтоженной вследствие несанкционированного доступа к ней;

6) постоянный контроль за обеспечением уровня защищенности информации.

5. Требования о защите информации, содержащейся в государственных информационных системах, устанавливаются федеральным органом исполнительной власти в области обеспечения безопасности и федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным в области противодействия техническим разведкам и технической защиты информации, в пределах их полномочий. При создании и эксплуатации государственных информационных систем используемые в целях защиты информации методы и способы её защиты должны соответствовать указанным требованиям.

6. Федеральными законами могут быть установлены ограничения использования определенных средств защиты информации и осуществления отдельных видов деятельности в области защиты информации.

Статья 17. Ответственность за правонарушения в сфере информации, информационных технологий и защиты информации

1. Нарушение требований настоящего Федерального закона влечет за собой дисциплинарную, гражданско-правовую, административную или уголовную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

2. Лица, права и законные интересы которых были нарушены в связи с разглашением информации ограниченного доступа или иным неправомерным использованием такой информации, вправе обратиться в установленном порядке за судебной защитой своих прав, в том числе с исками о возмещении убытков, компенсации морального вреда, защите чести, достоинства и деловой репутации. Требование о возмещении убытков не может быть удовлетворено в случае предъявления его лицом, не принимавшим мер по соблюдению конфиденциальности информации или нарушившим установленные законодательством Российской Федерации требования о защите информации, если принятие этих мер и соблюдение таких требований являлись обязанностями данного лица.

3. В случае, если распространение определенной информации ограничивается или запрещается федеральными законами, гражданско-правовую ответственность за распространение такой информации не несет лицо, оказывающее услуги:

1) либо по передаче информации, предоставленной другим лицом, при условии её передачи без изменений и исправлений;

2) либо по хранению информации и обеспечению доступа к ней при условии, что это лицо не могло знать о незаконности распространения информации.

Статья 18. О признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации Со дня вступления в силу настоящего Федерального закона признать утратившими силу:

1) Федеральный закон от 20 февраля 1995 года N24-ФЗ "Об информации, информатизации и защите информации" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1995, N8, ст. 609);

2) Федеральный закон от 4 июля 1996 года N85-ФЗ "Об участии в международном информационном обмене" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, N28, ст. 3347);

3) статью 16 Федерального закона от 10 января 2003 года N15-ФЗ "О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона "О лицензировании отдельных видов деятельности" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2003, N2, ст.167);

4) статью 21 Федерального закона от 30 июня 2003 года N86-ФЗ "О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Российской Федерации, признании утратившими силу отдельных законодательных актов Российской Федерации, предоставлении отдельных гарантий сотрудникам органов внутренних дел, органов по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ и упраздняемых федеральных органов налоговой полиции в связи с осуществлением мер по совершенствованию государственного управления" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2003, N27, ст.2700);

5) статью 39 Федерального закона от 29 июня 2004 года N58-ФЗ "О внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых законодательных актов Российской Федерации в связи с осуществлением мер по совершенствованию государственного управления" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, N27, ст.2711).

Президент Российской Федерации В.ПУТИН Москва, Кремль 27 июля 2006 года N149-ФЗ