

**М. К. Гусейханов**

# Концепции современного естествознания

Учебник и практикум

*Рекомендовано  
Министерством образования и науки  
Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших  
учебных заведений*

**Москва ■ Юрайт ■ 2015**

**Содержание**

УДК 50(075.8)  
ББК 20я73  
Г96

**Автор:**

**Гусейханов Магомедбаг Кагирович** — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики и директор планетария Дагестанского государственного университета.

**Рецензенты:**

*Гладун А. Д.* — доктор физико-математических наук, профессор МФТИ, председатель экспертного совета по общим естественно-научным дисциплинам Министерства образования РФ;

*Королева Л. В.* — доктор физико-математических наук, профессор МГПУ;

*Мелехова О. П.* — кандидат биологических наук, член экспертного совета Министерства образования РФ, старший научный сотрудник;

*Сафаралиев Г. К.* — доктор физико-математических наук, профессор ДГУ, чл.-корр. РАН, заместитель председателя комитета по образованию Государственной Думы РФ.

**Гусейханов, М. К.**

Г96

Концепции современного естествознания : учебник и практикум. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 598 с. — Серия : Основы наук.

ISBN 978-5-9916-1204-3

В учебнике и практикуме рассматриваются важнейшие концепции современного естествознания: этапы развития естественно-научной картины мира, современные представления о строении и развитии природы микро-, макро- и мегамиров; эволюция представлений о пространстве, времени и материи; принципы относительности и дополнителности; соотношение неопределенностей; законы сохранения в микро-, макро- и мегамире; природа элементарных частиц, энергии и вещества; концепции происхождения эволюции неживой, живой природы и человека; биосфера и экология; специфика современного естествознания; синергетика; самоорганизация в различных системах, проблемы современного естествознания; мировоззрение и НТР.

Учебный курс содержит советы о последовательности изучения материала, ответы на вопросы, вызывающие трудности при освоении курса, вопросы для обсуждения и задания по темам, тесты по всему курсу, тематику рефератов, список литературы, важнейшие понятия и термины, указатель имен ученых, таблицы научных открытий XX в.

Учебник и практикум составлены в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования третьего поколения.

*Для студентов вузов, изучающих концепции современного естествознания; преподавателей, аспирантов и учащейся молодежи, интересующейся мировоззренческими и теоретико-познавательными проблемами естествознания и философии.*

УДК 50(075.8)  
ББК 20я73

ISBN 978-5-9916-1204-3

© Гусейханов М. К., 2011

© ООО «Издательство Юрайт», 2015

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>7</b>
<b>Глава 1. Естествознание как единая наука о природе.....</b>	<b>11</b>
1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры.....	11
1.2. Место науки в системе культуры и ее структура.....	12
1.3. Характерные черты науки.....	16
1.4. Естествознание — фундаментальная наука .....	18
Выводы .....	21
Практическое занятие .....	21
<b>Глава 2. Характеристика научного познания.....</b>	<b>27</b>
2.1. Структура научного познания.....	27
2.2. Основные методы научного исследования .....	30
2.3. Динамика развития науки. Принцип соответствия.....	35
Выводы .....	39
Практическое занятие .....	39
<b>Глава 3. Важнейшие этапы развития естествознания.....</b>	<b>45</b>
3.1. Система мира античных философов .....	45
3.2. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы строения мира.....	53
3.3. Механистическая и электромагнитная картины мира .....	58
3.4. Современная естественно-научная картина мира.....	63
Выводы .....	67
Практическое занятие .....	68
<b>Глава 4. Концепция относительности пространства и времени .....</b>	<b>75</b>
4.1. Понятие пространства и времени.....	75
4.2. Измерение времени .....	79
4.3. Пространство и время в специальной теории относительности .....	82
4.4. Общая теория относительности о пространстве и времени ..	89
Выводы .....	94
Практическое занятие .....	95
<b>Глава 5. Строение материального мира.....</b>	<b>103</b>
5.1. Структурное распределение вещества в мире .....	103
5.2. Краткая характеристика микромира.....	104
5.3. Краткая характеристика макромира .....	109
5.4. Краткая характеристика мегамира .....	114

Выводы .....	117
Практическое занятие .....	119
<b>Глава 6. Взаимодействия и движения структур мира .....</b>	<b>127</b>
6.1. Четыре вида взаимодействий и их характеристика .....	127
6.2. Концепции близкодействия и дальнодействия .....	131
6.3. Взаимопревращение видов материи. Принцип суперпозиции .....	132
6.4. Фундаментальные постоянные мироздания .....	133
6.5. Антропный космологический принцип .....	136
6.6. Характер движения структур мира .....	139
Выводы .....	143
Практическое занятие .....	144
<b>Глава 7. Основные закономерности микромира .....</b>	<b>150</b>
7.1. Элементарные частицы .....	150
7.2. Корпускулярно-волновая природа микрообъектов .....	158
7.3. Концепция дополнительности .....	165
7.4. Вероятностный характер законов микромира. Концепции неопределенности и причинности .....	166
7.5. Электронная оболочка атома .....	169
Выводы .....	175
Практическое занятие .....	176
<b>Глава 8. Концепции вещества .....</b>	<b>185</b>
8.1. Свойства, формы и виды материи .....	185
8.2. Вещество и его состояния .....	187
8.3. Концептуальные уровни в познании веществ .....	190
8.4. Состав вещества и химические системы .....	194
8.5. Структура веществ и их свойства .....	201
8.6. Химические процессы .....	204
Выводы .....	208
Практическое занятие .....	209
<b>Глава 9. Природа мегамира .....</b>	<b>221</b>
9.1. Методы определения параметров мегамира .....	221
9.2. Земля как планета и природное тело .....	228
9.3. Состав и строение Солнечной системы .....	239
9.4. Солнце, звезды и межзвездная среда .....	249
9.5. Галактики .....	254
Выводы .....	260
Практическое занятие .....	261
<b>Глава 10. Характер естественно-научных закономерностей природы .....</b>	<b>265</b>
10.1. Детерминизм процессов природы .....	265
10.2. Детерминизм в тепловых процессах природы .....	269

10.3. Концепции энтропии в естествознании.....	272
10.4. Проблемы «тепловой смерти» Вселенной.....	275
10.5. Энергия и ее проявления в природе.....	279
10.6. Законы сохранения в природе.....	291
10.7. Концепции симметрии.....	298
10.8. Законы сохранения и принципы симметрии.....	304
Выводы.....	308
Практическое занятие.....	310
<b>Глава 11. Происхождение и эволюция Вселенной .....</b>	<b>317</b>
11.1. Недостатки классической теории.....	317
11.2. «Большой Взрыв» и расширяющаяся Вселенная.....	318
11.3. Начальная стадия Вселенной.....	324
11.4. Космологические модели Вселенной.....	328
Выводы.....	330
Практическое занятие.....	331
<b>Глава 12. Происхождение и эволюция небесных тел, Земли .....</b>	<b>338</b>
12.1. Происхождение и эволюция галактик и звезд.....	338
12.2. Происхождение планет Солнечной системы.....	344
12.3. Происхождение и эволюция Земли.....	352
Выводы.....	359
Практическое занятие.....	361
<b>Глава 13. Концепция происхождения жизни.....</b>	<b>370</b>
13.1. Отличие живого от неживого.....	370
13.2. Концепции происхождения жизни на Земле.....	371
13.3. Концепции естественного происхождения жизни на Земле.....	374
13.4. Классификация живого и их систем.....	385
Выводы.....	393
Практическое занятие.....	394
<b>Глава 14. Эволюция живой природы .....</b>	<b>403</b>
14.1. Доказательства эволюции живого.....	403
14.2. Пути и причины эволюции живого.....	408
14.3. Эволюционная теория Дарвина.....	410
14.4. Современная теория эволюции живого.....	413
14.5. Другие концепции эволюции живого.....	417
Выводы.....	421
Практическое занятие.....	423
<b>Глава 15. Концепция происхождения и эволюция человека .....</b>	<b>431</b>
15.1. Человек как предмет естественно-научного познания.....	431
15.2. Сходство и отличия человека от животных.....	432
15.3. Концепция появления человека на Земле. Антропология.....	435

15.4. Эволюция культуры человека.....	441
15.5. Социобиология.....	445
Выводы.....	449
Практическое занятие.....	450
<b>Глава 16. Человек.....</b>	<b>458</b>
16.1. Физиология человека.....	458
16.2. Эмоции и творчество.....	467
16.3. Здоровье и работоспособность.....	469
Выводы.....	474
Практическое занятие.....	475
<b>Глава 17. Учение о биосфере и экологии.....</b>	<b>481</b>
17.1. Биосфера.....	481
17.2. Экология.....	485
17.3. Ноосфера.....	488
Выводы.....	494
Практическое занятие.....	496
<b>Глава 18. Методы современного естествознания.....</b>	<b>504</b>
18.1. Системный метод исследования.....	504
18.2. Кибернетика — наука о сложных системах.....	510
18.3. Методы математического моделирования.....	512
Выводы.....	514
Практическое занятие.....	515
<b>Глава 19. Самоорганизация в природе.....</b>	<b>521</b>
19.1. Парадигма самоорганизации.....	521
19.2. Синергетика.....	522
19.3. Самоорганизация — источник и основа эволюции.....	532
19.4. Особенности эволюции неравновесных систем.....	535
19.5. Самоорганизация в различных видах эволюции.....	537
Выводы.....	539
Практическое занятие.....	540
<b>Глава 20. Современное естествознание и будущее науки.....</b>	<b>545</b>
20.1. Естествознание и мировоззрение.....	545
20.2. Естествознание и философия.....	547
20.3. Естествознание и научно-техническая революция.....	552
20.4. Общие закономерности современной науки.....	556
20.5. Особенности в развитии современной науки.....	558
Выводы.....	561
Практическое занятие.....	562
<b>Выдающиеся естествоисследователи.....</b>	<b>567</b>
<b>Основные научные открытия XX столетия.....</b>	<b>582</b>
<b>Система измерений.....</b>	<b>590</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>594</b>

## Введение

Гармонию мира способен ли  
Смертный постичь,  
Чей приход и уход  
Для него самого непонятен?

*Ибн Сина (Авиценна)*

Государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования Российской Федерации требуют освоения студентами гуманитарных и социально-экономических специальностей учебного курса по дисциплине «Концепции современного естествознания». Включение данной дисциплины в программу гуманитарных факультетов вузов обусловлено необходимостью ознакомления студентов с дополнительным для них неотъемлемым от единой культуры естествознанием и формирования целостного взгляда на окружающий мир. Этот курс призван содействовать получению широкого базового высшего образования, способствовать всестороннему развитию личности. Учебный курс отражает основной комплекс концепций современного естествознания, дает панораму наиболее известных методов и законов современной науки, демонстрирует специфику рационального метода познания окружающего мира. Это тем более необходимо, что сейчас рациональный естественно-научный метод все шире проникает в гуманитарную среду, формируя целостное научное знание общества. Наука приобретает все более универсальный язык, адекватный философии, психологии, социальным наукам и даже искусству. Возникшая сегодня тенденция к гармоничному синтезу двух традиционно различных культур, гуманитарной и естественно-научной, созвучна потребностям общества в целостном мировоззрении и подчеркивает актуальность предлагаемой дисциплины.

Для изучения выбраны те направления и проблемы, которые определяют облик современного естествознания и ука-

зывают место научного подхода к культуре. Одной из задач курса является формирование представлений о картине мира как основе целостности и многообразия природы. Поэтому в программу введены важнейшие концепции современного естествознания: представления о пространстве, времени и материи; законы сохранения; концепции происхождения и эволюции Вселенной, жизни и человека, а также фундаментальные исследования о биосфере и экологии; специфике самоорганизации с использованием системных методов и др.

Хорошо известно стремление людей найти общее в окружающем их многообразии вещей и явлений природы. Это стремление воплотилось в представлении о единстве мира. Целостное отражение единства мира — это результат синтеза данных естественных наук: физики, астрономии, химии, биологии и др.

Исторически мировоззрение развивалось от комплекса первобытных эмпирических знаний, мифологических, религиозных представлений к философско-теоретическому мировоззрению, и зачастую в учениях мыслителей переплетались религиозные и рациональные компоненты познания. Привнесение рациональных представлений поднимало мировоззрение на качественно новую ступень, но не полностью снимало вопроса о ненаучном отражении действительности, о наличии иррационального элемента в этом мировоззрении.

Стремление к единству многообразного получило одно из своих воплощений в научных догадках мыслителей Древнего Востока, античной Греции и Рима. Следует подчеркнуть, что эти догадки, а затем гипотезы представляли собой единство естественно-научного и философского подходов к анализу реального мира.

Идеи о Вселенной как едином целом, законы функционирования которого доступны человеческому познанию и пониманию, сыграли и продолжают играть конструктивную роль в формировании научной картины мира. Действительно, именно эта идея краеугольным камнем лежит в мировоззренческом и методологическом основании современной науки. «Основой всей нашей научной работы», «сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования» назвал Эйнштейн убеждение в рациональном (законообразном) устройстве Вселенной. «Без веры во внутреннюю гар-



монию нашего мира, — подчеркивал он, — не могло бы быть никакой науки».

Становление современной естественно-научной картины мира являет собой историческую, революционную или эволюционную смену одних научных взглядов другими. История человеческого познания — это история возникновения, развития и замены не отвечающих реалиям научных картин мира новыми, которые возникают в недрах предыдущих и в процессе эволюции приближаются к объективной научной картине мира. Основными формами обобщения фактов в системе мира, которые обеспечивают эволюционное ее развитие, являются: 1) объяснение фактов в рамках существующей системы мира; 2) объяснение фактов путем введения дополнительных понятий, новых способов формализации или с помощью введения ограничений на принципы теории. Таким образом, научная революция выступает как растянутый во времени, целостный, закономерный и периодически повторяющийся этап развития научного познания, для которого характерно скачкообразное формирование новой фундаментальной научной теории или научной картины мира.

Современная научная картина мира — это картина эволюционирующей Вселенной. Эволюция Вселенной включает эволюцию вещества, ее структуры, а также эволюцию живого и социального общества. Эволюция вещества сопровождалась понижением его температуры, плотности, образованием химических элементов. С эволюцией структуры связано возникновение сверхскоплений галактик, обособление и формирование звезд и галактик, образование планет и их спутников.

Для студента-гуманитария особенно принципиально осознание проблем общественной жизни в их связи с основными концепциями и законами естествознания. При этом ключевые этапы развития естествознания показывают, каким образом протекал диалог науки и общества в разные исторические периоды, демонстрируя преемственность и непрерывность в изучении природы.

Данная дисциплина не представляет собой механическое соединение традиционных курсов физики, химии, биологии, экологии и других, а является продуктом междисциплинарного синтеза на основе комплексного историко-философского, культурологического и эволюционно-синергетического подходов к современному естествознанию,

поэтому ее эффективное освоение возможно на основе применения новой парадигмы, способной объединить естественно-научную и гуманитарную компоненты культуры, и осознания универсальной роли метаязыка, синтезирующего фундаментальные законы естествознания, философии и синергетики.

Изучивший ее должен четко представить себе подлинное единство и целостность природы, то единое основание, на котором построено бесчисленное разнообразие предметов и явлений окружающего нас мира и из которого вытекают фундаментальные законы, связывающие микро-, макро- и мегамиры, Землю и Космос, физические и химические явления между собой и с жизнью, с разумом.

# Глава 1

## ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ЕДИНАЯ НАУКА О ПРИРОДЕ

### 1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры

Самое прекрасное, что мы можем  
переживать, — это таинственность.  
Это основное чувство, которое стоит  
у колыбели истинного искусства и науки.

*А. Эйнштейн*

Наука является важнейшим элементом духовной культуры людей. Традиционно принято разделять всю имеющуюся научную информацию на два больших раздела — на естественно-научную, в которой объединяют знания об окружающей природе, и на гуманитарную (от «гомо» — человек), в которую включают знания о человеке, обществе и духовной жизни людей. Для естественных наук предметом исследования являются объекты, природные явления, а в сфере гуманитарных наук — события, субъекты.

Различия между естественно-научными и гуманитарными знаниями заключаются в том, что естественно-научные знания основаны на разделении субъекта (человека) и объекта (природы, которую познает человек-субъект), а гуманитарные имеют отношение прежде всего к самому субъекту. В природе действуют объективные, стихийные и независимые от человека процессы, а в обществе ничего не совершается без сознательных целей, интересов и мотиваций.

Методы исследований в естествознании исторически сформировались раньше, чем в гуманитарных науках. В истории научного познания зачастую делались неоднократные попытки перенести естественно-научные методы целиком и полностью, без учета соответствующей специфики в гуманитарные науки. Такие попытки не могли

не встретить сопротивления и критики со стороны гуманистов, изучавших явления социальной жизни и духовной культуры. Зачастую такое сопротивление сопровождалось полным отрицанием естественно-научных методов познания для исследования социально-культурных и гуманитарных процессов.

Возникновение новых общенаучных и междисциплинарных направлений исследования, значительное влияние научно-технической революции способствовало в современной науке снятию былой конфронтации между естествоиспытателями и гуманитариями, а также использованию методов естествознания гуманитариями, и наоборот. В настоящее время нередко социологи, юристы, педагоги и прочие специалисты-гуманитарии применяют такие междисциплинарные методы, как системный подход, идеи и методы кибернетики, теории информации, математического моделирования, теории самоорганизации и другие методы в своих исследованиях.

Таким образом, изучение основных концепций современного естествознания студентами гуманитарных и социально-экономических специальностей представляется необходимым как для применения естественно-научных методов в своей деятельности гуманитариями, так и чтобы иметь четкие представления о научной картине мира, вырабатанные современным естествознанием.

Наиболее отчетливо различие между представителями естественно-научного и гуманитарного направлений проявляется в интерпретации их подхода к основным функциям науки. Поэтому рассмотрим эти функции, их классификацию, структуру, методы и динамику развития науки.

## 1.2. Место науки в системе культуры и ее структура

Наука постигается не для того, чтобы с ее помощью нажить богатство. Наоборот, богатство должно служить развитию науки.

*Абай Кунанбаев*

В историческом процессе уровень развития общества и человека, его познавательные и творческие способности, а также его воздействие и взаимоотношение с окружающей природой определяются состоянием **культуры**. В перево-

де с латинского культура (cultura) означает возделывание, воспитание, образование, развитие. В широком смысле слова **культура** — это все, что в отличие от данного природой создано человеком (рис. 1.1). Наука является одной из отраслей или разделов культуры. Если в древности важное место в системе культуры занимала мистика, в античности — мифология, в Средневековье — религия, то можно утверждать, что в современном обществе доминирует в ней влияние науки.

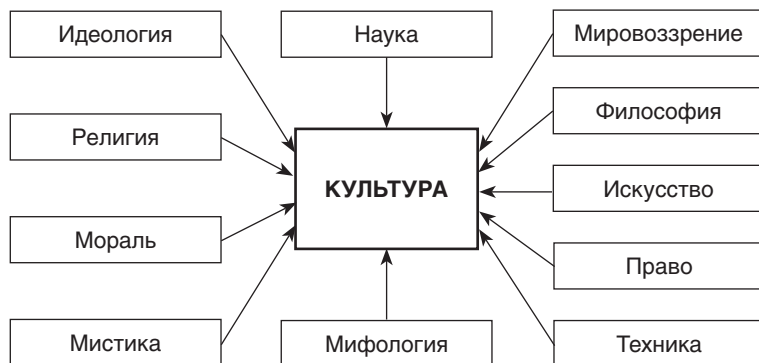


Рис. 1.1. Разделы культуры

Наука отличается от других форм общественного сознания и культуры следующим:

— от **мифологии** тем, что стремится не к объяснению мира в целом, а формулирует законы развития природы. Миф возникает на разных этапах истории развития человечества, как повествование, сказание, фантастические образы которого (боги, легендарные герои, события и т.п.) были попыткой обобщить и объяснить различные явления природы и общества. Достаточно вспомнить мифических богов и героев у древних греков, чтобы представить содержание мифологии (Зевс — громовержец, Посейдон — бог морей, Афина — покровительница наук, Афродита — богиня любви и т.д.);

— от **мистики** тем, что стремится не к слиянию с объектом исследования, а к его теоретическому пониманию. Мистика же возникла как элемент мистических образов религиозных обществ Древнего Востока и Запада. Главным в этих образах — это общение человека с богом или иным

таинственным существом. Подобное общение согласно мистике достигается якобы через озарение, экстаз, откровение и т.д.;

— от **религии** тем, что в науке главным исследовательским инструментом является реальный опыт, а не вера. В науке преобладает разум, но и в ней также имеет место вера в познавательные возможности разума, интуиция, особенно при формировании гипотез. Наука может сосуществовать с религией, поскольку внимание этих отраслей культуры устремлено на разные вещи: в науке — на эмпирическую реальность, в религии — преимущественно на внечувственное (вера). В отличие от научного мировоззрения религиозное мировоззрение выражается в общении с «божеством», со сверхъестественным при помощи молитв, таинств, святынь, символов. Оно основано на молитвенном и жертвенном отношении к сверхъестественному, признание которого всегда скрыто в глубинах мировых религий;

— от **философии** тем, что выводы науки допускают эмпирическую проверку;

— от **искусства** отличается своей рациональностью, не останавливающейся на уровне образов, а доведенной до уровня теорий. Искусство представляет собой одну из форм общественного сознания, которая отражает действительность в художественных образах;

— от **идеологии** тем, что ее истины общезначимы и не зависят от интересов определенных слоев общества;

— от **техники** тем, что наука нацелена не на использование полученных знаний, а на само познание мира.

**Наука** — это сфера человеческой деятельности, представляющая собой рациональный способ познания мира, в которой вырабатываются и теоретически систематизируются знания о реальности, основанные на эмпирической проверке и математическом доказательстве.

Как многофункциональное явление наука представляет собой:

- 1) отрасль культуры;
- 2) способ познания мира;
- 3) определенная система организованности (академии, университеты, вузы, институты, лаборатории, научные общества и издания).

Существует определенная внутренняя структура и классификация современных наук (рис. 1.2). Современную науку разделяют на фундаментальную и прикладную.

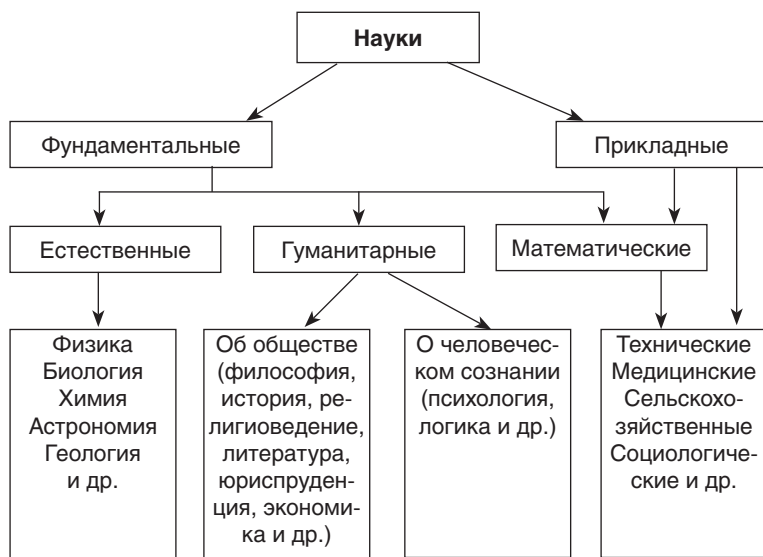


Рис. 1.2. Классификация наук

**Фундаментальными** считаются естественные, гуманитарные и математические науки, а **прикладными** являются технические, медицинские, сельскохозяйственные, социологические и другие науки.

Задачей фундаментальных наук является познание законов, управляющих взаимодействием базисных структур природы. Фундаментальные научные исследования определяют перспективы развития науки.

Впервые разделение фундаментальных наук на естественные, т.е. науки о природе, и гуманитарные, т.е. науки об обществе, было введено в Баденской школе неокантианства. Для естественных наук предметом исследования являются объекты, вещи природы, в сфере гуманитарных наук — события, субъекты (лат. «homo» — человек), знания о человеке.

Непосредственной целью прикладных наук является применение результатов фундаментальных наук для решения не только познавательных, но и социально-практиче-

ских проблем. Так, современный этап научно-технического прогресса связан с развитием авангардных исследований прикладных наук: микроэлектроники, робототехники, информатики, биотехнологии, генетики и др. Эти направления, сохраняя свою прикладную направленность, приобретают фундаментальный характер.

Результатами научных исследований являются теории, законы, модели, гипотезы, эмпирические обобщения. Все эти понятия, каждое из которых имеет свое определенное значение, можно объединить одним словом **«концепции»**. Понятие **«концепция»** (определенный способ трактовки какого-либо предмета, явления, процесса) происходит от лат. «conception» — «понимание», «система». Концепция, во-первых, — это система взглядов, то или иное понимание явлений, процессов. Во-вторых, — это единый, определяющий замысел, ведущая мысль какого-либо произведения, научного труда и т.д.

### 1.3. Характерные черты науки

Наука — самое важное, самое прекрасное и нужное в жизни человека.

*А. П. Чехов*

Не всякие знания могут быть научными. В человеческом мировоззрении содержатся такие знания, которые не входят в систему науки и которые проявляются на уровне обыденного сознания. Чтобы знания признали научными, им должны быть присущи по крайней мере следующие специфические признаки (черты): системность, достоверность, критичность, общезначимость, преемственность, прогнозируемость, детерминированность, фрагментарность, чувственность, незавершенность, рациональность, неморальность, абсолютность и относительность, обезличенность, универсальность.

Рассмотрим некоторые из этих признаков.

**Системность.** Знания должны носить системный характер на основе определенных теоретических положений и принципов. К числу важнейших задач системности относятся: 1) разработка средств представления исследуемых объектов как систем; 2) построение обобщенных моделей



системы; 3) исследование структуры теорий систем и различных системных концепций и разработок. В системном исследовании анализируемый объект рассматривается как определенное множество элементов, взаимосвязь которых обуславливает целостное свойство этого множества.

**Достоверность.** Знания должны быть достоверными, проверенными на практике, проходящими проверку по определенным правилам, а потому убедительными.

**Критичность.** Возможности определить окружающий мир на основании критического рассмотрения рациональных моделей, историко-культурологических и естественно-научных знаний, сопоставляя различные типы научных теорий. При этом наука всегда готова поставить под сомнение и пересмотреть свои, даже самые основополагающие результаты.

**Общезначимость.** Все истинные знания рано или поздно становятся признанными всеми учеными и способствуют объединению всех людей. Следовательно, общезначимость является лишь одним из следствий истинности знания, а не критерием истины

**Преемственность.** Объективная необходимая связь между новыми и «старыми» знаниями в процессе изучения окружающего мира, при этом новые знания дополняют и обогащают «старые». Правильное понимание процессов преемственности имеет особое значение для анализа закономерностей развития природы, общества, прогресса науки, техники, искусства, для борьбы как с некритическим отношением к достижениям прошлого, так и с нигилистским отрицанием его.

**Прогнозируемость.** Знания должны включать возможность предвидения грядущих событий в определенной области познания. В социальной сфере прогнозирование составляет одну из научных основ социального управления (целеполагания, предвидения, программирования, управленческих решений).

**Детерминированность.** Факты эмпирического характера должны быть не только описаны, но и причинно объяснены и обусловлены, т.е. раскрыты причины изучаемых объектов. В действительности принцип детерминизма, как утверждение о существовании объективных закономерностей, представляет собой только предпосылку научного предвидения (но не тождествен ему). Принцип детерминизма формулировался не только как утверждение о воз-

возможности предвидения, но и как общий принцип, дающий обоснование практической и познавательной деятельности, раскрывающий объективный характер последней.

**Фрагментарность.** Подразумевает, что изучение мира происходит не в целом, а через различные фрагменты реальности.

**Чувственность.** Результаты познания признаются достоверными только в случае, если они эмпирически проверены с использованием чувственного восприятия.

**Незавершенность** характерна тем, что, хотя научное знание безгранично растет, оно все-таки не может достичь абсолютной истины.

**Рациональность** позволяет получать знания на основе рациональных процедур и законов логики.

**Внеморальность** предполагает, что научные истины нейтральны и гуманны в морально-этическом плане.

**Обезличенность** достигается тем, что ни индивидуальные особенности ученого, ни его национальность или место проживания никак не представлены в конечных результатах научного познания.

**Универсальность** отличается тем, что сообщает знания, истинные для всего окружающего мира.

Специфика научного исследования определяется тем, что для науки характерны свои особые методы и структура исследований, язык, аппаратура.

## 1.4. Естествознание — фундаментальная наука

Учись, мой сын: наука сокращает  
Нам опыты быстротекущей жизни...

*А. С. Пушкин*

Естествознание — наука о природе, или, иначе, совокупность всех естественных наук, взятых в целом; как раздел науки, который изучает мир в его естественном состоянии. Слово «естествознание» состоит из двух слов «естество» — природа и знание. Это обширная область человеческих знаний о природе: разнообразных природных объектах, явлениях и закономерностях их существования и развития. Целью естествознания является познание законов природы и поиск путей их разумного практического использования. Область познания природы естественными науками неис-

черпаема. Естествознание исследует бесконечное множество объектов, начиная с субъядерного уровня (микромира элементарных частиц и вакуума) структурной организации материального мира, кончая галактиками, мегамирами и Вселенной. В частности, науки естествознания физика, химия, астрономия и другие исследуют неорганическую природу, а другие, например биологические науки, изучают живую природу. Современная биология является самой разветвленной наукой: ботаника, зоология, морфология, цитология, гистология, анатомия и физиология, микробиология, эмбриология, экология, генетика и т.д. Многообразие и дифференциация биологических наук объясняется сложностью самой живой природы.

Таким образом, в процессе познания единства и многообразия всей природы (окружающего мира) формировались множество дифференцированных и синтезированных естественных наук.

Естествознание представляет собой одну из основных форм человеческого знания, а именно о природе. Таких форм знания — три: о природе, обществе и человеческом мышлении. Естествознание представляет теоретическую основу промышленной и сельскохозяйственной техники и медицины. Оно является также основой диалектики и философского материализма. Диалектика природы немыслима без естествознания.

Объектом и предметом изучения естествознания являются различные виды материи (механическая, физическая, химическая, биологическая, космологическая, термодинамическая, геофизическая, кибернетическая и т.д.). По своему содержанию и методам изучения явлений природы естествознание может быть подразделено на эмпирическое и теоретическое, а по характеру своего объекта — на неорганическое, имеющее своим предметом формы движения неживой природы, и на органическое, предмет которого составляют явления в живой природе. Этим определяется внутренняя структура естествознания.

Участвуя в выработке естественно-научной или «физической» картины мира, естествознание главным образом своей теоретической частью (понятия, категории, законы, принципы, теории), а также разработкой приемов и методов научного исследования примыкает к философскому материализму. С каждым этапом развития естествознания

закономерно сменялась форма развития материализма в зависимости от естественно-научных открытий.

В целом ход развития естествознания — это от созерцания природы (древность) через аналитическое расчленение (XV—XVIII вв.), где получил метафизический взгляд на природу, к синтетическому воссозданию картины природы в ее всесторонности, целостности и конкретности (XIX—XX вв.).

В центре современного естествознания до середины XX в. была физика, искавшая способы использования атомной энергии и проникавшая в область микромира, в глубь атома, атомного ядра и элементарных частиц. Так, например, физика дала толчок развитию других отраслей естествознания — астрономии, космонавтики, кибернетики, химии, биологии, биохимии и иных естественных наук. Физика вместе с химией, математикой и кибернетикой помогает молекулярной биологии решать теоретически и экспериментально задачи искусственного биосинтеза, способствует раскрытию механизмов наследственности. Физика также способствует познанию природы химической связи, решению проблем космологии и космогонии. В последние годы начинает лидировать целая группа наук — молекулярная биология, кибернетика, микрохимия.

Особенно важными для науки являются философские выводы мировоззренческого характера, вытекающие на основе естественно-научных достижений: закон сохранения и превращения энергии; теория относительности Эйнштейна, прерывность и непрерывность в микромире, неопределенность Гейзенберга и т.д. Они определяют облик современного естествознания.

К современному естествознанию относятся концепции, возникшие в ней в XX в. Но не только последние научные данные можно считать современными, а все те, которые входят в толщу современной науки, поскольку наука представляет собой единое целое, состоящее из разновременных по своему происхождению и разнородных частей.

Таким образом, **концепциями современного естествознания** являются основные закономерности рациональных связей окружающей природы, открытые естественными науками за последнее столетие.

**Предметом естествознания** являются факты, закономерности, рациональные связи природных явлений, которые воспринимаются нашими органами чувств.

**Задача ученого** — обобщить эти факты и создать теоретическую модель, включающую законы, управляющие явлениями природы. **Основной принцип естествознания** гласит: знания о природе должны допускать эмпирическую проверку.

### Выводы

1. *Концепциями современного естествознания* являются определенные способы трактовки закономерностей об окружающем мире, полученные всеми естественными науками за последнее столетие.

2. *Естествознанием* называют раздел науки, который изучает природу в ее естественном состоянии, независимо от человека.

3. *Основной принцип естествознания* гласит: знания о природе должны допускать эмпирическую проверку.

4. *Наука* представляет собой особый рациональный способ познания мира, основанный на эмпирической проверке или математическом доказательстве. Наука как многофункциональное явление представляет собой: 1) отрасль культуры; 2) способ познания мира; 3) система организованности.

5. Дифференциация научного знания служит необходимым этапом в развитии науки, и она направлена на более тщательное и глубокое изучение отдельных явлений и процессов в определенной области.

6. Интеграция научного знания осуществляется в различных формах, начиная от применения понятий, теорий и методов одной науки в другой и кончая возникшим в нашем столетии системным методом.

7. Все, что создано человеком, в отличие от данного природой является культурой.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Платон мне друг, но истина дороже.

*Аристотель*

#### План семинара

1. Наука и ее характерные черты.
2. Место естествознания в системе наук.
3. Предмет и задачи курса «Концепции современного естествознания».

4. Отличие науки от других разделов культуры. Естественно-научная и гуманитарная культуры.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Концепция** (лат. «conceptio» — понимание, система) — система взглядов по тому или иному вопросу, явлению; его понимание и толкование.

**Культура** (лат. «cultura» — возделывание, воспитание, образование, развитие) — исторически определенный уровень развития общества и человека, его познавательных и творческих способностей, а также его воздействия на природу. В широком смысле слова культура — это все, что в отличие от данного природой создано человеком. *Естественно-научная культура* — научное осмысление природных процессов и использование данных естествознания на практике.

**Наука** — сфера человеческой деятельности, в которой вырабатываются и теоретически систематизируются знания о реальном мире, допускающие доказательство или эмпирическую проверку. Наука — одна из сфер деятельности, являющаяся частью культуры.

**Естествознание** (слово «естествознание» состоит из двух слов — «естество» — природа и знание) — обширная область человеческих знаний о природе: разнообразных природных объектах, явлениях и закономерностях их существования и развития. Науки о природе объединяются в группу естественных наук. К ним относятся: физика, биология, химия, астрономия, география, геология и др. Целью естествознания является познание законов природы и поиск путей их разумного практического использования.

**Парадигма** (греч. «paradigma» — пример, образец) — фундаментальная теория, объясняющая широкий круг явлений, относящихся к соответствующей области исследования.

### Задачи и упражнения

1. В своей книге О. Тоффлер утверждал: «...некоторые ученые рисуют картину мира науки как приводимую в действие своей собственной внутренней логикой и развивающуюся по своим собственным законам в полной изоляции от окружающего мира. Однако многие научные гипотезы,

теории и модели формируются под влиянием экономических, культурных и политических факторов, действующих за стенами лабораторий. Наука представляет собой открытую систему, которая погружена в общество и связана с ним сетью обратных связей. Наука испытывает на себе сильнейшее воздействие со стороны окружающей ее внешней среды, и развитие науки, вообще говоря, определяется тем, насколько культура восприимчива к научным идеям».

Со всеми ли суждениями О. Тоффлера можно согласиться? Приведите примеры из истории науки.

2. Начиная с О. Бэкона и И. Ньютона, наука в течение более чем трех столетий была источником силы и прогресса человечества. Однако во второй половине XX в. все чаще возникают обвинения в адрес науки.

В какой мере оправданы эти обвинения в адрес науки?

3. В 1663 г. некоему Эккарду Лейхнеру, предложившему работу философско-теологического содержания для обсуждения на заседании Лондонского королевского общества, был официально послан ответ: «Королевское общество не заинтересовано в знании по схоластическим и теологическим материям, поскольку единственная его задача — культивировать знание о природе и полезных искусствах с помощью наблюдения и эксперимента и расширять его ради обеспечения безопасности и благосостояния человечества».

О каких особенностях развития науки в XVII в. возможно говорить в данном случае?

4. Вот как описывает бывший госсекретарь США Д. Агесон встречу между Р. Оппенгеймером, возглавлявшим в 1939—1945 гг. работы по созданию атомной бомбы, и президентом США Г. Труменом, которая состоялась после атомной бомбардировки городов Японии: «Как-то раз я сопровождал Оппенгеймера к Трумену. Ученый, ломая себе пальцы, говорил: “У меня руки в крови”. Позднее Трумен сказал мне: “Больше не приводите ко мне этого дурака. Бомбу сбросил не он. Я сбросил бомбу, меня тошнит от этой слезливости”».

Может быть, Г. Трумен прав?

### Тестовые задания

1. Что понимается под концепцией?
  - а) объяснение какого-либо явления;
  - б) понимание происходящих событий;

- в) определенный научный подход;
  - г) система взглядов по тому или иному вопросу, явлению; его понимание и толкование;
  - д) система мировоззрения.
2. Какие из следующих функций не характерны для науки?
- а) раздел культуры;
  - б) способ познания мира;
  - в) система определенной организованности;
  - г) она отвечает интересам определенных классов общества.
3. Какие из следующих наук входят в структуру естественных наук?
- а) физические;
  - б) технические;
  - в) медицинские;
  - г) сельскохозяйственные;
  - д) математические.
4. На чем основана наука как способ познания мира?
- а) на вере в истинность законов;
  - б) стремлении объяснить мир в целом;
  - в) объяснении мира с помощью образов;
  - г) эмпирической проверке и математическом доказательстве;
  - д) использовании научных знаний для преобразования природы.
5. Как соотносятся наука и культура?
- а) культура — раздел науки;
  - б) наука — раздел культуры;
  - в) культура и наука независимы;
  - г) культура и наука — разделы философии;
  - д) наука и культура — понятия равнозначные.
6. Какое из определений науки наиболее точное?
- а) наука — система знаний, накопленных человечеством;
  - б) это форма духовного производства знаний;
  - в) форма общественного сознания;
  - г) одна из производительных сил общества;
  - д) система познания мира, основанная на эмпирической проверке и математическом доказательстве;
  - е) раздел культуры.



7. Какое содержание вкладывается в понятие «природа»?

- а) это часть мира, которая стала объектом теоретической и практической деятельности людей;
- б) биосфера Земли;
- в) биосфера и ноосфера;
- г) вся материальная действительность;
- д) наша Вселенная;
- е) географическая среда, в которой обитает человеческое общество.

8. Какое из следующих научных направлений не входит в естествознание?

- а) физика;
- б) антропология;
- в) физиология;
- г) математика;
- д) химия.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Что понимается под наукой?
2. Назовите черты, позволяющие отделить науку от иных сфер освоения действительности (искусство, религия).
3. Чем отличается наука от других отраслей культуры?
4. Совместимы ли наука и религия? Что такое верующий ученый?
5. Наука — благо или зло?
6. Чем отличается естественно-научная культура от гуманитарной?
7. В чем заключается единство научного метода?
8. Чем правовой закон отличается от научного?
9. Что означает и что изучает естествознание?
10. Когда и как возникло естествознание?
11. Что такое естествознание и какие науки можно к нему отнести?
12. Как соотносятся друг с другом естественные науки?
13. Что понимается под концепциями современного естествознания?
14. Каковы особенности развития науки в XX в.?
15. Что такое научная революция? Какие научные революции в истории общества известны?
16. Какие основные этапы можно выделить в развитии науки?

17. Когда и при каких обстоятельствах возникает наука?
18. Назовите выдающиеся достижения современного естествознания.
19. Почему в культуре XX в. столь большое место занимает космическая мифология (инопланетяне, НЛО и т.д.)?
20. На основании каких признаков астрологию можно отнести к науке? Почему она все-таки не может претендовать на статус научного знания?

### Тематика рефератов

1. Характеристика науки, ее основные черты и отличия от иных отраслей культуры.
2. Естествознание и его отличия от других циклов наук.
3. История естествознания до начала XX в.
4. Теория познания и современное естествознание.
5. Основополагающие методологические концепции развития современного естествознания.
6. Классификация естественных наук.

### Литература

1. *Гусейханов, М.К.* Концепции современного естествознания / М.К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Кузнецов, В.И.* Естествознание / В.И. Кузнецов, Г.М. Идлис, В.Н. Гутина. — М., 1996. — С. 5—33.
3. Единство научного знания. — М. : Наука, 1988. — С. 117—132, 148—167, 237—252.
4. *Рузавин, Г.И.* Методы научного исследования. — М., 1974. — С. 7—32, 194—210.
5. *Сноу, Ч.* Две культуры. — М., 1973.
6. *Пуанкаре, А.* О науке. — М., 1983.

## Глава 2

# ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

### 2.1. Структура научного познания

Опыт и наблюдение — таковы величайшие источники мудрости, доступ к которым открыт для каждого человека.

*У. Чэнинг*

**Научное познание** — это объективно-истинное знание о природе, обществе и человеке, полученное в результате научно-исследовательской деятельности и, как правило, апробированное (доказанное) практикой. Естественно-научное познание структурно состоит из **эмпирического и теоретического** направлений научного исследования. Отправной точкой любого из этих направлений научного исследования является получение **научного, эмпирического факта** (рис. 2.1).

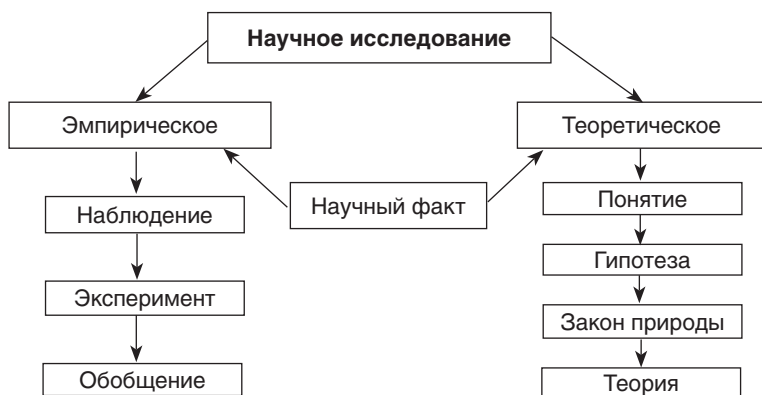


Рис. 2.1. Структура естественно-научного познания

Главным в **эмпирическом** направлении исследования в некоторых областях естествознания является наблюдение. **Наблюдение** — это длительное, целенаправленное и планомерное восприятие предметов и явлений объективного мира. Следующей структурой эмпирического направления познания является научный эксперимент. **Эксперимент** — это научно поставленный опыт, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в точно учитываемые условия.

Отличительной особенностью научного эксперимента является то, что его способен воспроизвести каждый исследователь в любое время. Найти аналогии в различиях — необходимый этап научного исследования. Эксперимент может быть проведен на моделях, т.е. на телах, размеры и масса которых пропорционально изменены по сравнению с реальными телами. Результаты модельных экспериментов можно считать пропорциональными результатами взаимодействия реальных тел. Возможно проведение мысленного эксперимента, т.е. представить себе тела, которых вообще не существует в реальности, и провести над ними эксперимент в уме. В современной науке надо проводить и идеализированные эксперименты, т.е. мысленные эксперименты с применением идеализаций. На основании эмпирических исследований могут быть сделаны **эмпирические обобщения**.

На **теоретическом** уровне познания помимо эмпирических фактов требуются понятия, которые создаются заново или берутся из других разделов науки. Формирование понятий относится к следующему уровню исследований, который является не эмпирическим, а теоретическим.

**Понятие** есть мысль, отражаемая предметами и явлениями в их общих и существенных чертах, свойствах сокращенно, концентрированно (например, материя, движение, масса, скорость, энергия, растение, животное, человек и др.). Важным способом теоретического уровня исследований является выдвижение гипотез.

**Гипотеза** — это особого рода научное предположение о непосредственно наблюдаемых или вообще неизвестных формах связи явлений или причинах, производящих эти явления. Гипотеза как предположение выдвигается для объяснения фактов, которые не укладываются в имеющиеся

ся законы и теории. Она выражает прежде всего процесс становления знания, в теории же в большей степени фиксируется достигнутый этап в развитии науки. При выдвижении какой-либо гипотезы принимается во внимание не только ее соответствие эмпирическим данным, но и некоторые методологические принципы, получившие название критериев простоты, красоты, экономии мышления и т.п. После выдвижения определенной гипотезы исследование опять возвращается на эмпирический уровень для ее проверки. Цель — проверка следствий из этой гипотезы, о которых ничего не было известно до ее выдвижения. Если гипотеза подтверждается эмпирической проверкой, то она приобретает статус закона природы, если нет — считается отвергнутой. Закон природы является наилучшим выражением гармонии мира.

**Закон** — внутренняя причинная, устойчивая связь между явлениями и свойствами различных объектов, отражающая отношения между объектами. Если изменения одних объектов или явлений (причина) вызывает вполне определенное изменение других (следствие), то это означает проявление действия закона. Например, периодический закон Д. И. Менделеева устанавливает связь между зарядом атомного ядра и химическими свойствами данного химического элемента. Совокупность нескольких законов, относящихся к одной области познания, называется **научной теорией**.

Принцип фальсифицируемости научных положений, т.е. их свойство быть опровергаемыми на практике, остается в науке непререкаемым. Эксперимент, который направлен на опровержение данной гипотезы, носит название решающего эксперимента. Естествознание изучает мир с целью творения законов его функционирования как продуктов человеческой деятельности, отражающих периодически повторяющиеся факты действительности.

Итак, наука строится на основе наблюдений, экспериментов, гипотез, теорий и аргументации. Наука в содержательном плане — это совокупность эмпирических обобщений и теорий, подтверждаемых наблюдением и экспериментом. Причем творческий процесс создания теории и аргументации в их поддержку играет в науке не меньшую роль, чем наблюдение и эксперимент.

## 2.2. Основные методы научного исследования

Наука начинается с тех пор,  
как начинают измерять.  
Точная наука немислима без меры.

*Д. И. Менделеев*

Эмпирический и теоретический уровни знания различаются по предмету, средствам и результатам исследования. **Знание** — проверенный практикой результат познания окружающего мира; обобщенное отражение действительности в мышлении человека. Различие между эмпирическим и теоретическим уровнями исследований не совпадает с различием между чувственным и рациональным познанием, хотя эмпирический уровень преимущественно чувствен, а теоретический рационален.

Структура научного исследования, описанная нами, представляет собой в широком смысле способ научного познания или **научный метод** как таковой. **Метод** — это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Метод не только уравнивает способности людей, но также делает их деятельность единообразной, что является предпосылкой для получения единообразных результатов всеми исследователями. Выделяются эмпирические и теоретические методы. К эмпирическим методам относятся нижеперечисленные.

**Наблюдение** — это длительное, целенаправленное и плановое восприятие предметов и явлений объективного мира. Можно выделить два вида наблюдения — непосредственное и с помощью приборов. При осуществлении наблюдения с помощью соответствующих приборов в микромире требуется обязательный учет свойств самого прибора, его рабочей части, характера взаимодействия с микрообъектом.

**Описание** — это результат наблюдения и эксперимента, состоящий в фиксировании данных с помощью определенных систем обозначений, принятых в науке. Описание как метод научного исследования производится как путем обычного языка, так и специальными средствами, составляющими язык науки (символы, знаки, матрицы, графики и т.д.). Важнейшими требованиями к научному описанию являются точность, логическая строгость и простота.

**Измерение** представляет собой познавательную операцию, обеспечивающую численное выражение измеряемых величин. Оно осуществляется на эмпирическом уровне на-

учного исследования и включает количественные эталоны и стандарты (вес, длина, координаты, скорость и т.д.). Измерение осуществляется субъектом как непосредственно, так и опосредованным образом. В связи с этим оно делится на два вида: прямое и косвенное. *Прямое измерение* представляет собой непосредственное сравнение измеряемого объекта или явления, свойства с соответствующим эталоном; косвенное определение величины измеряемого свойства на основе учета определенной зависимости от других величин. *Косвенное измерение* помогает производить определение величин в таких условиях, когда непосредственное измерение усложнено или невозможно. Так, например, измерение тех или иных свойств многих космических объектов, галактических микропроцессов и т.д.

**Сравнение** — сопоставление объектов с целью выявления признаков сходства или признаков различия между этими объектами. Известный афоризм гласит: «Все познается в сравнении». Для того чтобы сравнение было объективным, оно должно отвечать следующим требованиям:

- сравнивать необходимо сопоставимые явления и предметы (так, нет смысла сравнивать человека с треугольником или животного с метеоритом и т.д.);

- сравнение должно осуществляться по наиболее важным и существенным признакам, так как сравнение по несущественным признакам может привести к заблуждению.

**Эксперимент** — научно поставленный опыт, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в точно учитываемые условия, что дает возможность изучать их влияние на объект в «чистом виде». В отличие от наблюдения эксперимент характеризуется вмешательством исследователя в положение изучаемых объектов благодаря активному воздействию на предмет исследования. Он широко распространен в физике, химии, биологии, физиологии и других естественных науках. Эксперимент приобретает все большее значение в социальных исследованиях. Однако здесь его значение ограничено, во-первых, моральными, гуманистическими соображениями; во-вторых, тем, что большинство социальных явлений нельзя воспроизвести в лабораторных условиях, и, в-третьих, тем, что многие социальные явления невозможно многократно повторять, изолировать от прочих общественных явлений. Итак, эмпирическое изучение является исходным для формирования научных законов, на этой ступени объект подвергается пер-

вичному осмыслению, выявляются его внешние особенности и некоторые закономерности (эмпирические законы).

К научным методам теоретического уровня исследований относятся представленные на рис. 2.2.

Научные методы	
Эмпирические	Теоретические
Наблюдение	Формализация
Описание	Аксиоматизация
Измерение	Анализ
Сравнение	Синтез
Эксперимент	Индукция
Моделирование	Дедукция
(предметное, физическое)	Обобщение
Эмпирическое обобщение	Аналогия
	Математизация
	Абстрагирование

Рис. 2.2. Научные методы исследования

**Формализация** — отображение результатов мышления в точных понятиях или утверждениях, т.е. построение абстрактно-математических моделей, раскрывающих сущность изучаемых процессов. Формализация играет важную роль в анализе, уточнении и экспликации научных понятий. Она неразрывно связана с построением искусственных или формализованных научных законов.

**Аксиоматизация** — построение теорий на основе аксиом, утверждений, доказательства истинности которых не требуется. Истинность всех утверждений аксиоматической теории обосновывается в результате строгого соблюдения дедуктивной техники вывода (доказательства) и нахождения (или построения) интерпретации аксиоматических систем. При самом же построении аксиоматики исходят из того, что принятые аксиомы — истины.

**Анализ** — фактическое или мысленное расчленение целостного предмета на составные части (стороны, признаки, свойства, отношения или связи) с целью его всестороннего изучения. Анализ, разлагая предметы на части и изучая каждую из них, должен обязательно рассматривать их не сами по себе, а как части единого целого.

**Синтез** — фактическое или мысленное воссоединение целого из частей, элементов, сторон и связей, выделенных



с помощью анализа. С помощью синтеза мы восстанавливаем предмет как конкретное целое во всем многообразии его проявлений. В естественных науках анализ и синтез применяются не только теоретически, но и практически. В социально-экономических и гуманитарных исследованиях предмет исследования подвергается лишь мысленному расчленению и воссоединению. Анализ и синтез как методы научного исследования выступают в органичном единстве.

**Индукция** — метод исследования и способ рассуждения, в котором общий вывод о свойствах предметов и явлений строится на основе отдельных фактов или частных посылок. Так, например, переход от анализа фактов и явлений к синтезу полученных знаний осуществляется методом индукции. С помощью индуктивного метода можно получить знание не достоверное, а вероятное, причем различной степени достоверности.

**Дедукция** — это переход от общих рассуждений или суждений к частным. Вывод новых положений с помощью законов и правил логики. Дедуктивный метод имеет первостепенное значение в теоретических науках как средство их логического упорядочения и построения, особенно когда известны истинные положения, из которых можно получить логически необходимые следствия.

**Обобщение** — логический процесс перехода от единичного к общему, от менее общего к более общему знанию, — при этом устанавливаются общие свойства и признаки исследуемых объектов. Получение обобщенного знания означает более глубокое отражение действительности, проникновение в ее сущность.

**Аналогия** — прием познания, представляющий собой умозаключение, в ходе которого на основе сходства объектов по некоторым признакам (свойствам и связям) делается вывод об их сходстве и в других свойствах, связях. Умозаключение по аналогии играет существенную роль в развитии научного познания. Многие важные открытия в сфере естествознания были сделаны путем переноса общих закономерностей, свойственных одной области явлений, на явления в другой области. Так, Х. Гюйгенс на основании аналогии свойства света и звука пришел к выводу о волновой природе света. Дж. К. Максвелл распространил этот вывод на характеристики электромагнитного поля. Выявление определенного сходства отражательных процессов живого организма и некоторых физических процессов способствовало созданию соответствующих кибернетических устройств.

**Математизация** — проникновение аппарата математической логики в естественные и другие науки. Математизация современного научного знания характеризует его теоретический уровень. С помощью математики формулируются основные закономерности развития естественно-научных теорий. Математические методы находят широкое применение и в социально-экономических науках. Создание (под непосредственным влиянием практики) таких отраслей, как линейное программирование, теория игр, теория информации и появление электронных математических машин открывает совершенно новые перспективы.

**Моделирование** — изучение объекта путем создания и исследования его модели (копии), замещающей оригинал, с определенных сторон, интересующих исследователя. В зависимости от способа воспроизведения, т.е. от тех средств, при помощи которых строится модель, все модели могут быть разделены на два вида: «действующие», или материальные, модели; «воображаемые», или идеальные, модели. К материальным моделям можно отнести макеты моста, плотины, здания, самолета, корабля и т.д. Они могут быть построены из того же материала, что и изучаемый объект, или на основе чисто функциональной аналогии. Идеальные, мысленные модели подразделяются на мысленные конструкции (модели атома, галактики), теоретические схемы, воспроизводящие в идеальной форме свойства и связи исследуемого объекта, и знаковые (математические формулы, химические знаки и символы и др.). Особо выделяются кибернетические модели, которые заменяют еще недостаточно изученные управляющие системы, помогают исследовать законы функционирования данной системы (например, моделирование отдельных функций человеческой психики).

**Абстрагирование** — метод познания, при котором происходит мысленное отвлечение и отбрасывание тех предметов, свойств и отношений, которые затрудняют рассмотрение объекта исследования в «чистом» виде, необходимом на данном этапе изучения. Посредством абстрагирующей работы мышления возникли все понятия, категории естественных и социально-экономических наук: материя, движение, масса, энергия, пространство, время, растение, животное, биологический вид, товар, деньги, стоимость и др.

Кроме рассмотренных эмпирических и теоретических методов существуют общенаучные методы исследования, к которым можно отнести приведенные ниже.

**Классификация** — разделение всех изучаемых предметов на отдельные группы в соответствии с каким-либо важным для исследователя признаком.

**Логический метод** — это метод воспроизведения в мышлении сложного развивающего объекта в форме определенной теории. При логическом исследовании объекта мы отвлекаемся от всех случайностей, несущественных фактов, зигзагов, т.е. из которых вычленяется самое главное, существенное, определяющее общий ход и направленность развития.

**Исторический метод** — это когда воспроизводятся все детали, факты познаваемого объекта во всем конкретном многообразии исторического развития. Исторический метод предполагает исследование конкретного процесса развития, а логический метод — исследование общих закономерностей движения объекта познания.

Большое значение в современной науке приобрели **статистические методы**, позволяющие определять средние значения, которые, в свою очередь, позволяют определять то общее, что характерно (типично) для всей совокупности исследуемых объектов.

Итак, на теоретическом уровне осуществляется объяснение объекта, раскрываются его внутренние связи и сущностные процессы (теоретические законы). Если эмпирическое познание является исходным для формирования научных законов, то теория позволяет объяснить эмпирический материал. Оба эти уровня познания тесно связаны между собой. Общими для них являются и те формы, в которых осуществляются чувственные образы (ощущения, восприятия, представления) и рациональное мышление (понятия, суждения и умозаключения).

## 2.3. Динамика развития науки. Принцип соответствия

Наука есть наилучший путь для того, чтобы  
сделать человеческий дух героическим.

*Д. Бруно*

Развитие науки определяется внешними и внутренними факторами (рис. 2.3). К первым относится влияние государства, экономических, культурных, национальных параметров, ценностных установок ученых. Вторые определяются внутренней логикой и динамикой развития науки.

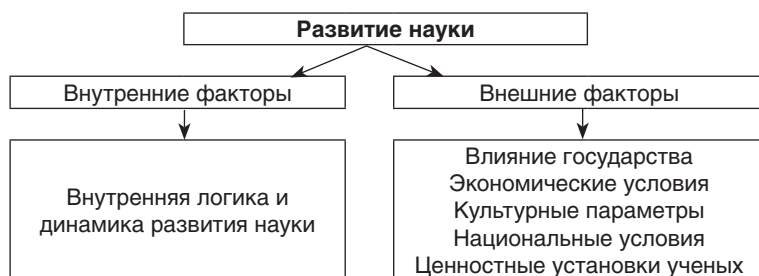


Рис. 2.3. Факторы, влияющие на развитие науки

Внутренняя динамика развития науки имеет свои особенности на каждом из уровней исследования. Эмпирическому уровню присущ обобщающий характер, поскольку даже отрицательный результат наблюдения или эксперимента вносит свой вклад в накопление знаний. Теоретический уровень отличается более скачкообразным характером, так как каждая новая теория представляет собой качественное преобразование системы знаний. Новая теория, пришедшая на смену старой, не отрицает ее полностью (хотя в истории науки имели место случаи, когда приходилось отказываться от ложных концепций теплорода, эфира, электрической жидкости и т.п.), но чаще ограничивает сферу ее применимости, что позволяет говорить о преемственности в развитии теоретического знания.

Вопрос о смене научных концепций является одним из наиболее актуальных в методике современной науки. В первой половине XX в. основной структурной единицей исследования признавалась теория и вопрос о ее смене ставился в зависимости от ее эмпирического подтверждения или опровержения. Главной методологической проблемой считалась проблема сведения теоретического уровня исследования к эмпирическому, что в конечном счете оказалось невозможным. В начале 60-х гг. XX в. американский ученый Т. Кун выдвинул концепцию, в соответствии с которой теория до тех пор остается принятой научным обществом, пока не подвергается сомнению основная парадигма (установка, образ) научного исследования в данной области. **Парадигма** — это совокупность теоретических и методологических предпосылок, определяющих конкретное научное исследование, которая воплощается в научной практике на данном этапе. Она является основанием выбора проблем,

а также моделью, образцом для решения исследовательских задач. Парадигма позволяет решать возникающие в научных исследованиях затруднения, фиксировать изменения в структуре знания, происходящие в результате научной революции и связанные с накоплением новых эмпирических данных.

С этой точки зрения динамика развития науки происходит следующим образом (рис. 2.4): старая парадигма проходит нормальную стадию развития, затем в ней накапливаются научные факты, не объясняющиеся этой парадигмой, происходит революция в науке и возникает новая парадигма объясняющая все возникшие научные факты. Парадигмальная концепция развития научного знания затем была конкретизирована с помощью понятия «исследовательская программа» как структурная единица более высокого порядка, чем отдельная теория. В рамках исследовательской программы и обсуждаются вопросы об истинности научных теорий.



Рис. 2.4. Динамика развития науки

Еще более высокой структурной единицей является естественно-научная картина мира, которая объединяет в себе наиболее существенные естественно-научные представления данной эпохи.

Общая динамика и закономерность, характеризующая в целом процесс исторического развития естествознания, подчиняются важному методологическому принципу, называемому принципом соответствия. **Принцип соответствия** в его наиболее общей форме утверждает, что теории,

справедливость которых экспериментально установлена для той или иной области естествознания, с появлением новых, более общих теорий не устраниаются как нечто ложное, но сохраняют свое значение для прежней области явлений как предельная форма и частный случай новых теорий. Этот принцип является одним из важнейших достижений естествознания XX в. Благодаря ему история естествознания предстает перед нами не как хаотическая смена различных, более или менее удачных теоретических воззрений, не как череда их катастрофических крушений, а как закономерный и последовательный процесс развития познания, идущего ко все более широким обобщениям, как познавательный процесс, каждая ступень которого имеет объективную ценность и доставляет частицу абсолютной истины, обладание которой становится все более и более полным. С этой точки зрения процесс познания понимается как процесс движения к абсолютной истине через бесконечную последовательность относительных истин. Причем процесс движения к абсолютной истине происходит не плавно, не путем простого накопления фактов, а диалектически — через революционные скачки, при которых всякий раз преодолевается противоречие между накопившимися фактами и господствующей в данное время парадигмой. Принцип соответствия показывает, как именно в естествознании абсолютная истина складывается из бесконечной последовательности относительных истин.

Принцип соответствия утверждает, во-первых, что каждая естественно-научная теория является относительной истиной, содержащей элемент абсолютной истины. Во-вторых, он утверждает, что смена естественно-научных теорий — это не последовательность разрушений разных теорий, а логический процесс развития естествознания, движения разума через последовательность относительных истин к абсолютной. В-третьих, принцип соответствия утверждает, что как новые, так и старые теории образуют единое целое.

Таким образом, согласно принципу соответствия развитие естествознания представляется как процесс последовательного обобщения, когда новое отрицает старое; но не просто отрицает, а с удержанием всего того положительного, что было накоплено прежде.

## Выводы

1. *Естественно-научное познание* структурно состоит из эмпирического и теоретического направлений научного исследования. В структуре эмпирического направления исследования проводят по следующей схеме: эмпирический факт, наблюдения, научный эксперимент, эмпирические обобщения. В структуре теоретического метода действует иная схема: научный факт, понятия, гипотеза, закон природы, научная теория.

2. *Научный метод* представляет собой яркое воплощение единства всех форм знаний о мире. Тот факт, что познание в естественных, технических, социальных и гуманитарных науках в целом совершается по некоторым общим правилам, принципам и способам деятельности, свидетельствует, с одной стороны, о взаимосвязи и единстве этих наук, а с другой — об общем, едином источнике их познания, которым служит реальный мир: природа и общество.

3. Теория до тех пор остается принятой научным обществом, пока не подвергается сомнению основная парадигма (установка, образ) научного исследования. Динамика развития науки происходит так: старая парадигма — нормальная стадия развития науки — революция в науке — новая парадигма.

4. *Принцип соответствия* утверждает, что развитие естествознания происходит, когда новое не просто отрицает старое, а отрицает с удержанием всего положительного, что было накоплено в старом.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тот, кто хочет решать вопросы естественных наук без помощи математики, ставит неразрешимую задачу. Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является.

*Г. Галилей*

### План семинара

1. Структура научного познания. Эмпирический и теоретический уровни естественно-научного исследования и их характеристика.

2. Методы научного познания.

3. Внешние и внутренние факторы развития науки.

4. Динамика развития науки.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Анализ** (*греч.* «analysis» — разложение, расчленение) — метод исследования, состоящий в мысленном или фактическом разделении целого на составные части.

**Аналогия** (*греч.* «analogia» — сходство) — сходство в каком-либо отношении между предметами и явлениями.

**Аномалия** — неправильность, отклонение от нормы, от общей закономерности.

**Гипотеза** (*греч.* «hypothesis» — основание, предположение) — научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее проверки на опыте. Чтобы стать законом природы, гипотеза должна быть подтверждена экспериментально и обоснована теоретически.

**Дифференциация** (*лат.* «differentia» — различие) — в научном познании необходимый этап развития, направленный на более тщательное и глубокое изучение отдельных явлений и процессов в определенной области действительности.

**Закон** — внутренняя причинная устойчивая связь между явлениями и свойствами различных объектов, отражающая отношения между объектами. Если изменения одних объектов или явлений (причина) вызывают конкретное изменение других (следствие), то это означает проявление действия закона. Например, периодический закон Д. И. Менделеева устанавливает связь между зарядом атомного ядра и химическими свойствами данного химического элемента. Согласно закону преломления света при переходе светового луча из одной среды в другую (причина) происходит изменение его направления (следствие). Закон природы является наилучшим выражением гармонии мира.

**Знание** — проверенный практикой результат познания действительности; обобщенное отражение действительности в мышлении человека.

**Интеграция** (*лат.* «integratio» — восстановление) — объединение в целое каких-либо частей, в научном познании такое объединение осуществляется в различных формах, начиная от применения понятий и методов одной науки в другой и кончая современным системным методом.

**Интерпретация** (*лат.* «interpretatio» — посредничество) — истолкование, разъяснение смысла какой-либо знаковой системы (символа, выражения, текста).



**Метод** — это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Выделяют эмпирические и теоретические методы.

**Наблюдение** — длительное, целенаправленное и планомерное восприятие предметов и явлений объективного мира.

**Научное познание** — это объективно-истинное знание о природе, обществе и человеке, полученное в результате научно-исследовательской деятельности и, как правило, апробированное (доказанное) практикой.

**Описание** — результат наблюдения и эксперимента, состоящий в фиксированных данных с помощью определенных систем обозначений, принятых в науке.

**Определение** — «речь, обозначающая суть бытия (вещи)», по Аристотелю; в современной науке — описание термина.

**Прогноз** (греч. «prognosis» — предвидение) — предсказание изменений в развитии и исходе каких-либо событий, явлений, основанное на определенных данных.

**Редукционизм** — сведение сложного к простому, составного — к элементарному.

**Синтез** (греч. «synthesis» — соединение, сочетание) — в химии — получение сложных соединений из более простых. В научном познании — метод исследования предмета или явления как единого целого.

**Измерение** — операция, обеспечивающая численное выражение измеряемых величин.

**Эксперимент** — научно поставленный опыт, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в точно учитываемые условия.

### Тестовые задания

1. Какой из следующих методов не входит в структуру естественно-научного познания?

- а) эмпирический;
- б) познавательный;
- в) теоретический;
- г) ни один из них;
- д) все они.

2. Что относится к внутренним факторам развития науки?

- а) влияние государства;
- б) влияние экономических, культурных, национальных параметров;
- в) влияние ценностных установок ученых;
- г) внутренняя логика и динамика развития науки.

3. Что не является составной частью эмпирического метода исследования?

- а) эмпирический факт;
- б) наблюдение;
- в) научный эксперимент;
- г) научная гипотеза;
- д) эмпирическое обобщение.

4. Что не является составной частью теоретического метода исследования?

- а) научный факт;
- б) понятие;
- в) гипотеза;
- г) закон природы;
- д) наблюдение;
- е) научная теория.

5. Какой научный метод соответствует определению: «он позволяет определять средние значения, характеризующие всю совокупность изучаемых предметов»?

- а) логический;
- б) исторический;
- в) классификационный;
- г) статистический;
- д) динамический.

6. Какой из эмпирических методов соответствует определению: «он представляет собой познавательную операцию, обеспечивающую численное выражение измеряемых величин»?

- а) наблюдение;
- б) описание;
- в) измерение;
- г) сравнение;
- д) эксперимент.

7. Какой из теоретических методов исследования соответствует определению: «это прием познания, который представляет собой умозаключение, в ходе которого на основе сходства объектов в одних свойствах, связях делается вывод об их сходстве и в других свойствах, связях»?

- а) обобщение;
- б) аналогия;
- в) математизация;
- г) моделирование;
- д) абстрагирование.

8. Какой из теоретических методов исследования соответствует определению: «это переход от общих рассуждений или суждений к частным»?

- а) формализация;
- б) аксиоматизация;
- в) гипотетико-дедуктивный;
- г) анализ;
- д) синтез;
- е) индукция;
- ж) дедукция.

9. Какой из эмпирических методов соответствует следующему определению: «это длительное, целенаправленное и планомерное восприятие предметов и явлений объективного мира»?

- а) эксперимент;
- б) сравнение;
- в) измерение;
- г) наблюдение;
- д) описание.

10. В состав эмпирического метода исследования не входит...

- а) эмпирический факт;
- б) наблюдение;
- в) научный эксперимент;
- г) эмпирическое обобщение;
- д) научная гипотеза.

11. Какое из следующих определений наиболее точно характеризует научный метод?

- а) метод — совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата;
- б) метод — это способ уравнивания возможностей людей;
- в) метод является способом получения единообразных результатов всеми исследователями;
- г) метод — это структура научного исследования;
- д) метод — способ исследования явлений природы.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Какова структура естественно-научного познания?
2. Почему происходит деление естествоиспытателей на экспериментаторов и теоретиков?

3. Какая разница существует между эмпирическими и теоретическими объяснениями?
4. Охарактеризуйте причину оторванности теории от эксперимента.
5. Какова роль гармонического развития эксперимента и теории в естественно-научном процессе познания действительности?
6. Что такое научный метод и на чем он основывается?
7. В чем заключается единство научного метода?
8. Дайте характеристику общенаучных и конкретно-научных методов исследования.
9. Каковы основные методологические концепции развития современного естествознания?
10. Какие этические проблемы актуальны для современного естествознания?
11. На основании каких примеров можно сделать вывод о независимости научных методов друг от друга?
12. Каковы возможности математизации (формализации знания) в разных научных дисциплинах?
13. Что называют парадигмой в науке?
14. Какие условия необходимы для проведения научных экспериментов?
15. Чем язык науки отличается от обычного человеческого языка?

### Тематика рефератов

1. Структура естественно-научного познания.
2. Общенаучные и конкретно-научные методы исследования.
3. Специфика научных революций.
4. Научные революции в XX в.

### Литература

1. Гусейханов, М. К. Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. Рузавин, Г. И. Методы научного исследования. — М., 1974. — С. 7–32.
3. Рузавин, Г. И. Концепции современного естествознания. — М., 1997.
4. Горелов, А. А. Концепции современного естествознания. — М., 1997.

## Глава 3

# ВАЖНЕЙШИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

### 3.1. Система мира античных философов

Где теперь эти люди мудрейшие нашей Земли?  
Тайной нити в основе творенья они не нашли.  
Как они суесловили много о сущности бога, —  
Весь свой век бородами трясли и бесследно ушли.

*Омар Хайям*

За несколько тысячелетий до нашей эры в речных цивилизациях Востока появились и запечатлелись в памятниках древнейшей письменности некоторые представления о природе. С этого времени последовательно развивалась общая идея Вселенной, в которой все явления связаны единой цепью причин и следствий. История науки в странах Древнего Востока — в Египте, Вавилоне, Китае, Индии и в других древнейших речных цивилизациях — позволяет ответить на коренной вопрос, относящийся к генезису науки, — вопрос об отличии научных представлений в их самой первоначальной форме от мифологических и религиозных верований, с одной стороны, и от непосредственных эмпирических наблюдений — с другой. От первых они отличаются объяснением явлений природы ее собственными законами, от вторых — систематизацией элементарных причинных констатаций, наличием сравнительно абстрактных понятий, тенденцией к некоей единой картине (табл. 3.1), включающей все частные причинные связи. Пока речь идет о Древнем Востоке, приходится говорить лишь о тенденции: **единая естественно-научная картина мира была создана только в античный период**. Египет, Вавилон, Древний Китай и Индия знали конкретные причинные связи явлений,

пользовались некоторыми обобщенными понятиями — не только качественными, но и количественными, подошли к сравнительно полноценной картине, объясняющей смену дня и ночи, смену времен года, некоторые метеорологические явления. В странах Древнего Востока были высказаны идеи естественного причинного порядка во Вселенной.

Несмотря на высокий уровень астрономических сведений народов Древнего Востока, их взгляды на строение мира ограничивались непосредственными зрительными ощущениями. Поэтому в Вавилоне сложились взгляды, согласно которым Земля имеет вид выпуклого острова, окруженного океаном. Внутри Земли будто бы находится «царство мертвых».

Таблица 3.1

**Основные этапы становления современной  
естественно-научной картины мира**

Этап истории	Естественно-научные картины мира
4000 лет до н.э.	Научные догадки египетских жрецов, составление солнечного календаря
3000 лет до н.э.	Предсказание солнечных и лунных затмений китайскими мыслителями
2000 лет до н.э.	Разработка семидневной недели и лунного календаря в Вавилоне
VIII в. до н.э.  IV в. до н.э.  V в. до н.э.  II в. до н.э.	<i>Первые представления о единой естественно-научной картине мира возникли в античный период.</i> 1. Возникновение представлений о материальной первооснове всех вещей. 2. Создание математической программы Пифагора — Платона. Атомистическая физическая программа Демокрита — Эпикура. 3. Континуалистическая физическая программа Анаксагора — Аристотеля. 4. Изложение геоцентрической системы мира К. Птолемея в сочинении «Альмагест»
1543 г.	Гелиоцентрическая система строения мира польского мыслителя Н. Коперника
XVII в.	Становление механистической картины мира на основе законов механики И. Кеплера и И. Ньютона
XVII—XVIII вв.	Химическая и биологическая картины мира
XIX в.	Возникновение электромагнитной картины мира на основе трудов М. Фарадея и Д. Максвелла
XIX—XX вв.	Квантовая — релятивистская картина мира
XX в.	Становление современной естественно-научной картины мира

Небо — это твердый купол, опирающийся на земную поверхность и отделяющий «нижние воды» (океан, обтекающий земной остров) от «верхних» (дождевых) вод. На этом куполе прикреплены небесные светила, над небом будто бы живут боги. Солнце восходит утром, выходя из восточных ворот, и заходит через западные ворота, а ночью оно движется под Землей. Эти наивные представления о строении мира были заимствованы древними евреями и нашли свое отражение в Библии, а затем и в других религиозных книгах. Тем не менее вавилонские астрономы производили систематические наблюдения над небесными светилами, могли вычислять сроки наступления новолуний, составлять лунные календари, предложили семидневную неделю. Вселенная древних египтян имеет вид большой долины, вытянутой с севера на юг, в центре ее находится Египет. Небо уподоблялось большой железной крыше, которая поддерживается на столбах, на ней в виде светильников подвешены звезды. Вместе с тем египетские жрецы за 4000 лет до н.э. знали довольно хорошо продолжительность солнечного года, который у них состоял из 360 суток, разделенных на 12 месяцев. А 2000 лет до н.э. они уточнили календарный год до 365 суток. Их солнечный календарь послужил основой для построения юлианского календаря.

В Древнем Китае существовало представление, согласно которому Земля имеет форму плоского прямоугольника, над которым на столбах поддерживается круглое выпуклое небо. Разъяренный дракон будто бы согнул центральный столб, вследствие чего Земля наклонилась к востоку. Поэтому все реки в Китае текут на восток. Небо же наклонилось на запад, поэтому все небесные светила движутся с востока на запад. Однако из китайских летописей следует, что видимое движение Солнца и Луны и периодическая повторяемость затмений уже известны там за 3000 лет до н.э.

В науке Древнего Востока обобщающая мысль поднималась к представлению о причинной закономерности во Вселенной в целом. Но это не означает, что были попытки построения единой системы природы. Такие попытки выходили за пределы возможного в речных цивилизациях — для них не хватало ни конкретных исходных сведений, ни абстрактных понятий. В Индии мысль о Вселенной, в которой нет ничего, кроме материи, противостояла религии уже за тысячу лет до н.э. Подобные направления мысли Древнего Востока не приводили

к построению единой картины мира, в которой последовательная цепь причин и следствий объясняла бы всю совокупность известных людям явлений природы. Такие картины были созданы в Древней Греции.

Когда греки — носители уже не речной, а средиземноморской цивилизации — познакомились с естественно-научными представлениями Египта и культурных стран Азии и дополнили их астрономическими, географическими и биологическими сведениями, выросшими из обобщения собственного земледельческого, ремесленного, строительного и навигационного опыта, тогда в ионийских колониях появились первые единые концепции мира как целого, противостоявшие религиозно-мифологической картине строения, происхождения и развития небесных тел и Вселенной. В греческих колониях на западных берегах Малой Азии (Иония), на юге Италии и в Сицилии в VI в. до н.э. началось бурное развитие науки, в частности философии, как учения о природе. Именно здесь на смену простому созерцанию явлений природы и их наивному толкованию приходят попытки научно объяснить эти явления, разгадать их истинные причины. Древнегреческие философы («любители мудрости») за VII веков до н.э. Землю уподобляли плоскому диску, по краям которого омывается вода океана. Над диском твердая небесная полусфера, под диском подземный мир. (Аид — царство мертвых.) В VI в. до н.э. по их представлениям Вселенная и Земля произошли от некоторого первичного «элемента», т.е. укрепились идея о материальной первооснове всех вещей: Фалес Милетский — вода, Анаксимен — воздух, Анаксимандр — беспредельное (апейрон — неопределенное начало), Гераклит Эфесский — огонь.

Одним из выдающихся древнегреческих мыслителей был Гераклит Эфесский (ок. 530—470 гг. до н.э.). Это ему принадлежат слова: «Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим...». Гераклит выдвинул замечательный принцип вечной изменчивости материи. Он учил о вечном обмене веществ между небом и Землей. Тогда же Пифагор Самосский (ок. 580—500 гг. до н.э.) высказал мысль о том, что Вселенная имеет вид концентрических, вложенных друг в друга прозрачных хрустальных сфер, к которым будто бы прикреплены планеты. В центре мира в этой модели помещалась Земля, вокруг нее вращались сферы Луны, Мерку-



рия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. Дальше всех находилась сфера неподвижных звезд.

Первую теорию строения мира, объясняющую прямое и попятное движение планет, создал греческий философ Евдокс Книдский (ок. 408—355 гг. до н.э.). Он предположил, что у каждой планеты имеется не одна, а несколько сфер, скрепленных друг с другом. Одна из этих сфер совершает один оборот в сутки вокруг оси небесной сферы по направлению с востока на запад. Время обращения другой (в обратную сторону) предполагалось равным периоду обращения планеты. Тем самым объяснялось видимое движение планеты вдоль эклиптики. При этом предполагалось, что ось второй сферы наклонена к оси первой под определенным углом. Комбинация с этими сферами позволяла объяснить попятное движение планеты и ее наклонное движение по отношению к эклиптике. Все особенности движения Солнца и Луны объяснялись с помощью трех сфер. Звезды Евдокс разместил на одной сфере, вмещающей в себя все остальные. Таким образом, все видимое движение небесных светил Евдокс свел к вращению 27 сфер.

В дальнейшем развитии мировоззрения большую роль сыграла **математическая программа Пифагора — Платона**. Платон (427—347 гг. до н.э.) полагал, что основой мира являются: огонь, воздух, вода, земля. Пифагор и его последователи высказали мысль о шарообразности Земли: Земля — сфера, подобная самой себе во всех направлениях: она не имеет ни верха, ни низа. Пифагор также обратил внимание на то, что Солнце совершает полный оборот в течение года по эклиптике в направлении, противоположном суточному вращению звездного неба, которое представлялось сферой, окружающей Землю. Пифагореец Филолай (V в. до н.э.) предложил пироцентрическую систему мира, в которой Земля, Солнце, Луна, пять планет, противоземля и сфера неподвижных звезд обращаются вокруг центрального огня. Пироцентрическая система Филолая уступила геоцентрической системе Платона (она связывается с Птолемеем и продержалась до XVI в.). Платон высказал предположение, что Земля находится в центре мира, что вокруг нее обращается Луна, Солнце, далее утренняя звезда Венера, звезда Гермеса (Меркурий), звезды Ареса, Зевса и Кронуса (Марс, Юпитер и Сатурн). У Платона впервые встречаются названия планет по имени богов, полностью совпадающие с вавилонскими. Представления о равномерном, круговом, совершенно правильном

движении небесных тел высказал также Платон. Он впервые сформулировал задачу: найти, с помощью каких равномерных и правильных круговых движений можно «спасти явления, представляемые планетами». Другими словами, Платон ставил задачу построить геометрическую модель мира, в центре которой должна была находиться Земля.

Усовершенствованием системы мира Евдокса занялся ученик Платона **Аристотель** (384—322 гг. до н.э.). Так как взгляды этого выдающегося философа-энциклопедиста безраздельно господствовали в физике и астрономии в течение почти двух тысяч лет, поэтому остановимся на них подробнее. Аристотель и его последователи отрицали пустоту (вакуум) в природе, полагали, что материальная субстанция беспрельдно делима, и разграничивали «земное» и «небесное». Земля, по их представлениям, есть мир тленный, где происходит постоянный круговорот — рождение и смерть, произрастание и увядание; небо, наоборот, усеяно светилами, состоящими из одного эфира — нетленного элемента: все светила являются поэтому вечными и совершенными.

Аристотель вслед за философом Эмпедоклом (ок. 490—430 гг. до н.э.) предположил существование четырех «стихий»: земли, воды, воздуха и огня, из смешения которых будто бы произошли все тела, встречающиеся на Земле. По Аристотелю, стихии вода и земля естественным образом стремятся двигаться к центру мира («вниз»), тогда как огонь и воздух движутся «вверх» к периферии и тем быстрее, чем ближе они к своему «естественному» месту. Поэтому в центре мира находится Земля, над ней расположены вода, воздух и огонь. Таким образом, Аристотель различает естественные и насильственные движения тел. Для земных тел естественными являются движения по прямой к центру Космоса (т.е. вниз) или от центра Космоса (вверх): тяжелые тела по самой своей природе стремятся вниз, а легкие — вверх. Всякие иные движения земных тел являются насильственными.

Представления Аристотеля о естественных и насильственных движениях тел господствовали в науке в течение многих столетий — вплоть до XVI—XVII вв., когда возникла механика Галилея — Ньютона. По Аристотелю, Вселенная ограничена в пространстве, хотя ее движение вечно, не имеет ни конца, ни начала. Это возможно как раз потому, что, кроме упомянутых четырех элементов, существует и пятая, неуничтожимая форма материи, которую Аристотель называл эфиром. Из эфира будто бы состоят все небесные тела,

для которых вечное круговое движение — это естественное состояние. «Зона эфира» начинается около Луны и простирается вверх, тогда как ниже Луны находится мир четырех элементов.

При построении своей системы мира Аристотель использовал представления Евдокса о концентрических сферах, на которых расположены планеты и которые обращаются вокруг Земли. По Аристотелю, Космос ограничен, имеет форму сферы, в центре которой находится земной шар, за пределами сферы нет ничего — ни пространства, ни времени. В пределах же сферы нет пустоты — все заполняет «первичная материя». Все небесные движения совершенны, т.е. совершаются равномерно по кругам согласно принципу пифагорейцев.

Аристотель представлял себе планеты прикрепленными к определенным прозрачным сферам, которые вращаются вокруг неподвижной Земли. У него имеются убедительные доказательства шарообразности Земли. Одним из них было изменение вида звездного неба при передвижении наблюдателя по земной поверхности: в южных странах появляются новые созвездия, невидимые на севере, чем дальше к северу, тем больше видно незаходящих звезд. Второе доказательство Аристотеля основано на наблюдениях лунных затмений: тень Земли на диске Луны всегда ограничена дугой круга. Из того, что все тела при падении стремятся к центру Земли, по мнению Аристотеля, следует, что Земля должна иметь шаровидную форму. В своих трудах Аристотель изложил принципы классификации животных, провел сравнение различных животных по их строению, заложил основы античной эмбриологии.

Большое влияние на становление реалистической картины мира оказала также **атомистическая физическая программа Демокрита — Эпикура**. Основателями атомистики в Древней Греции считаются Левкипп и его знаменитый ученик Демокрит (ок. 460—370 гг. до н.э.). По мнению этих философов, возникновение живого — естественный процесс, результат природных сил, а не «акта творения» внешних сил. Согласно Левкиппу и Демокриту в мире есть лишь два «начала» — пустота (небытие) и атомы (бытие). Атомистическая физическая программа древних греков поистине удивительна: мы, люди XX в., находим в ней предвидение многих сторон современной научной картины

мира. Однако она на долгие столетия тогда была вытеснена континуалистической программой Аристотеля.

Современникам Аристотеля уже было известно, что планета Марс в противостоянии, а также Венера в период попятного движения значительно ярче, чем в другое время. По теории сфер они должны были бы оставаться всегда на одинаковом расстоянии от Земли. Именно поэтому тогда возникали и другие представления о строении мира. Так, Гераклид Понтийский (388—315 гг. до н.э.) предполагал, что Земля движется «...по вращательной, около своей оси, наподобие колеса, с запада на восток вокруг собственного центра». Он высказал также мысль, что орбиты Венеры и Меркурия являются окружностями, в центре которых находится Солнце. Вместе с Солнцем эти планеты будто бы и обращаются вокруг Земли.

Еще более смелых взглядов придерживался Аристарх Самосский (ок. 310—330 гг. до н.э.). Выдающийся древнегреческий ученый Архимед (ок. 287—212 гг. до н.э.) в своих трудах пишет, что Аристарх полагал, что неподвижные звезды и Солнце не меняют своих мест в пространстве, что Земля движется по окружности около Солнца, находящегося в ее центре, и что центр шара неподвижных звезд совпадает с центром Солнца. Он допускал также и суточное вращение Земли. Однако слишком мало данных было в распоряжении ученых того времени, чтобы обосновать эту теорию, которая на много столетий опережала представления, сложившиеся тогда в естествознании.

Значительный вклад в развитие представлений о Вселенной внес древнегреческий астроном Гиппарх (II в. до н.э.). Он уточнил каталог китайских астрономов Чань Чун и Ши Шень (355 г. до н.э.) и греческих астрономов Аристиллы и Тимохариса (280 г. до н.э.) — каталог содержал сведения о 1008 звездах и 48 созвездиях. Гиппарх обнаружил, что видимое движение Солнца и Луны на небе является неравномерным. Поэтому он и стал на точку зрения, что эти светила движутся равномерно по круговым орбитам, однако центр круга смещен по отношению к центру Земли. Такие орбиты были названы эксцентами. Гиппарх составил таблицы, по которым можно было определить положение Солнца и Луны на небе на любой день года. Благодаря работам Гиппарха астрономы отказались от мнимых прозрачных сфер, предложенных Евдоксом, и перешли к более сложным построениям с помощью эпициклов и деферентов.

Воззрения античных философов содержали ряд важнейших элементов эволюционизма: во-первых, мысль о естественном возникновении живых существ и их изменении в результате борьбы противоположностей и выживании удачных вариантов; во-вторых, идею ступенчатого усложнения организации живой природы; в-третьих, представление о целостности организма (принцип корреляции) и об эмбриогенезе как процессе новообразования.

### 3.2. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы строения мира

Коперник пусть разглядывает звезды.  
Любовь — моя звезда, мой свет и воздух...

*Р. Гамзатов*

Классическую форму теории эпициклических движений придал александрийский астроном Клавдий Птолемей (II в. н.э.) в его знаменитом сочинении «Альмагест» (арабское название, у древних греков называлось «Мегале Синтаксис», т.е. «Великое построение»). В этой книге Птолемей сделал то, что не удавалось ни одному из его предшественников. Он разработал метод, пользуясь которым можно было рассчитать положение планеты на любой наперед заданный момент времени. Это сочинение дает стройную теорию планетных движений, но исходит из неверного принципа неподвижности Земли в центре мира. Это была логически стройная кинематическая схема Вселенной, которая, несмотря на ложность своих теоретических построений, давала удовлетворительное описание основных особенностей видимого движения небесных тел. В историю науки она вошла как **геоцентрическая система мира**.

В Средневековье надолго затормозилось развитие науки. Системы мира Аристотеля и Птолемея были признаны согласными с религиозной идеологией. Основа христианской религии — тезис искупления (пришествие на Землю бога для спасения людей) гармонировал с представлением об исключительном положении Земли как центра мира. Некоторый подъем астрономической науки в средние века нужно отметить у арабов, народов Средней Азии и Кавказа. Труды Птолемея вместе с другими древними астро-

номическими источниками послужили отправной точкой для ряда усовершенствований геоцентрической системы мира, разработанной средневековыми учеными и философами, в особенности Ибн-Хайсамом (известным в Европе под именем Альхазена) и Ибн-Шатиром, принадлежавшим к астрономической школе Насир-эд-Дина Туси (XIII в.).

Аль-Батани (по прозвищу Альбатегниус (850—929 гг. н.э.) заново и точнее определил и проверил многие из результатов Гиппарха и Птолемея. Великому хорезмскому ученому Абу-Райхану Бируни (972—1048 гг. н.э.) принадлежит определение размеров Земли по углу понижения горизонта с вершины горы. Он же выразил мнение о возможности движения Земли вокруг Солнца. Соорудив обсерваторию с весьма точными для того времени измерительными инструментами, талантливый самаркандский астроном Улугбек (Мухаммад Турагай — внук известного завоевателя Тамерлана) составил новый каталог звезд — первый самостоятельный после Гиппарха и более точный: положения звезд даны в нем не только в градусах, но и в минутах дуги.

В средние века в научно-философской среде мусульманского Востока и христианского Запада предметом особого обсуждения стал вопрос о физической реальности птолемеевских эпициклов и деферентов. По мнению Абу Райхана Бируни, эпициклы и деференты имеют вполне реальное физическое существование. В то же время другой крупный представитель научно-философской мысли Средневековья Ибн Рушд (Аверроэс) хотя и допускал, что эпициклы и деференты сами по себе нужны для расчета и предсказания положения планет, вместе с тем оспаривал мнение, согласно которому эпициклы и деференты существуют внутри реального космоса в актуально-физическом смысле.

Значительным шагом вперед было геологическое учение Ибн-Сины (Авиценны). Впервые в истории науки он открыл закон последовательности залегания осадочных пород (500 лет спустя его вновь открыл датский естествоиспытатель Николай Стено). Это открытие послужило отправным пунктом для формулировки Авиценной более общей научной концепции — учение об эволюции земной коры. К идее эволюции независимо от Ибн-Сины пришел также его современник Абу Райхан Бируни. Это учение имело огромное мировоззренческое значение вследствие того, что идея постоянного изменения земной поверхно-

сти резко противоречила религиозному постулату о единовременном и совокупном творении всего космоса и его пребывании в дальнейшем в вековечном, абсолютно неизменном состоянии. Между Ибн Синой и Бируни дискутировалась также проблема существования изолированных миров. Согласно Бируни, вполне допустимо, что «другой мир обладает теми же природными свойствами, что и наш мир, но только эти свойства созданы таким образом, что направления движения в нем отличаются от направлений движения в окружающем мире и что каждый из этих миров отделен от другого некоей преградой». Судя по аргументации, приведенной Ибн Синой, против такой постановки вопроса о множественности миров, его прежде всего волновала проблема существования пустоты и связанный с ней вопрос о физической природе преграды, отделяющей эти миры друг от друга. Бируни же допускал возможность существования других миров иной природы, отделенных некоей преградой от нашего мира. Эти вопросы, интересовавшие мыслителей Средневековья, исторически соотносимы с некоторыми современными космологическими моделями пространственной локализации системы «мир-антимир», многомерными пространствами.

У разных ученых начинают намечаться попытки нового подхода к объяснению небесных явлений, пока, наконец, польский мыслитель — Николай Коперник не сделал великого шага к созданию нового мировоззрения, давшего толчок мощному развитию астрономии как науки. Основой возникновения всех этих новых идей является грандиозный хозяйственный переворот. Великое свое творение Коперник изложил в книге «Об обращениях небесных сфер», появление которой относится к 1543 г., т.е. к году смерти Коперника, и составляет результат многолетних его работ. Геоцентрическая система Птолемея с течением времени усложнялась, поскольку повышенные требования к точности астрономических вычислений делали необходимым увеличение количества дополнительных окружностей (эпициклов, деферентов), чтобы согласовать систему с Землей в центре и вращающимися вокруг нее по окружностям планетами с наблюдаемыми движениями этих планет. Ко времени Коперника число деферентов и эпициклов возросло до 56 и имело тенденцию расти дальше. Уже в античности многие мыслители не были удовлетворены такой сложной «неестественной» конструкцией. Один из них (Прокл)

считал, что эпициклы — всего лишь умственные построения, созданные для «спасения явлений», и что пути планет на самом деле являются сложными и неравномерными, а другие (Симплиций) вообще полагали, что сложные пути планет — видимость, за которой находится некая непознанная глубинная сущность.

Вместе с тем громоздкость птолемеевой системы не позволяла давать точных данных о движении Солнца и Луны, а это, в свою очередь, тормозило реформу юлианского календаря. Вселенная Птолемея заметно упростилась бы, если принять, что в центре ее находится не Земля, а Солнце. Чтобы произвести такой революционный шаг понадобился гениальный ум Николая Коперника, создавшего **гелиоцентрическую систему мира**. В ее основе лежали следующие утверждения:

1. В центре мира находится Солнце.
2. Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении и вращаются вокруг одного из своих диаметров.
3. Это движение происходит по круговым орбитам.
4. Оно является равномерным, т.е. скорости движения планет по круговым орбитам постоянны.

Полемизуя с аргументами Аристотеля и Птолемея, Коперник отметил, что «вращается не только Земля вместе с соединенной с ней водной стихией, но и немалая часть воздуха и все, что состоит в каком-либо родстве с Землей». Не следует удивляться и тому, что смещение звезд при движении Земли не замечено. Ведь «размеры мира столь велики, что, хотя расстояние от Земли до Солнца имеет достаточно большие размеры по сравнению с размерами сферы любой планеты, оно тем не менее неощутимо мало по сравнению со сферой неподвижных звезд». Поэтому «легче принять это допущение, чем ломать голову над бесконечным множеством сфер, как это вынуждены делать те, кто удерживает Землю в центре мира».

Впервые Коперник дал правильный план строения Солнечной системы, установив ее относительные масштабы. Приняв за единицу измерений расстояние от Земли до Солнца, он нашел, что расстояние от Солнца до Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна равны соответственно 0,376; 0,723; 1,52; 5,217 и 9,184. За исключением последней, эти цифры почти не отличаются от современных. Учение Коперника произвело настоящую революцию не только



в астрономии, но и в мировоззрении. Коперник стер грань между «земным» и «небесным».

Последующие шаги в создании новой картины мира были сделаны Галилеем и Кеплером — оба они были убежденными коперниканцами. Галилей впервые использовал подзорную трубу собственной конструкции для астрономических наблюдений, открыв горы на Луне, т.е. открыв, что Луна имеет не идеальную форму шара, присущую якобы лишь телам «небесной природы», а имеет вполне «земную» природу. Таким образом, была поколеблена идея, идущая еще от Аристотеля, о принципиальном различии между «совершенными» небесными телами и несовершенными земными. Другие его астрономические открытия: открытие четырех спутников Юпитера (1610 г.), обнаружение фаз Венеры, наличие пятен на Солнце — имели огромное мировоззренческое значение, подтверждающее материальное единство мира. Наглядно было показано, что Земля не является единственным центром, вокруг которого должны обращаться все тела. Это было важным доказательством в пользу коперниковской системы мира.

При разработке своей системы мира Коперник исходил из предположения, что Земля и планеты обращаются вокруг Солнца по круговым орбитам. Поэтому, чтобы объяснить сложное движение планет по эклиптике, ему пришлось ввести в свою систему 48 эпициклов. И лишь благодаря усилиям И. Кеплера система мира Коперника приобрела простой и стройный вид. Кеплер совершил следующий шаг — открыл эллиптическую форму орбит и законы, по которым планеты движутся вокруг Солнца. Первые два кеплеровских закона были опубликованы в 1609 г., третий — в 1619 г. Наиболее важным для понимания общего устройства Солнечной системы был первый закон, гласивший, что планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, а Солнце находится в фокусе одного из этих эллипсов. В свое время греки предполагали, что все небесные тела должны двигаться по кругу, потому что круг — самая совершенная из всех кривых. Хотя греки знали много вещей об эллипсах и тщательно изучили их математические свойства, им никогда не приходило в голову, что, возможно, небесные тела движутся как-то иначе, нежели по кругам или сложным сочетаниям кругов. Кеплер первым отважился высказать такую идею. Однако три его закона имеют решающее значение в истории науки прежде

всего потому, что они способствовали доказательству закона тяготения Ньютона.

Другим выдающимся коперниканцем, старшим современником Галилея и Кеплера, был Джордано Бруно. Он выдвинул идею множественности миров, которую можно трактовать как принцип эквивалентности разных мест во Вселенной и имеющую фундаментальное методологическое значение и в современной космологии. Основная идея натурфилософии Д. Бруно — бесконечность и однородность Вселенной, неисчислимость миров — звезд, тождественных по своей природе с Солнцем. У Бруно не только Земля, но и Солнце перестает быть центром Вселенной, последняя вообще не имеет центра. Он также допустил возможность существования внеземных цивилизаций.

### **3.3. Механистическая и электромагнитная картины мира**

Новое надобно созидать в поте лица,  
а старое само продолжает существовать  
и твердо держится на костылях привычки.

*А. И. Герцен*

Галилей и Кеплер, отталкиваясь от динамических и кинематических законов Аристотеля, переосмысливали его механику и в итоге перехода от геоцентризма к гелиоцентризму пришли к своим кинематическим законам. Эти законы предопределили принципиально единую для земных и небесных тел механику Ньютона со всеми сформированными им классическими законами механики, включая универсальный закон всемирного тяготения. Галилей, рассматривая движение тел при свободном падении, первым ввел понятие инерции и сформулировал принцип относительности для механических движений, известный как принцип относительности Галилея. Решающий вклад в становление механики внес И. Ньютон.

Стройную логическую систему научной картине мира придали законы механики, разработанные Исааком Ньютоном и изложенные в его гениальной работе «Математические начала натуральной философии» (1687 г.). Ньютон больше, чем какой бы то ни было другой мыслитель его поколения, внес в научную картину мира не только новое

содержание, но и принципиально иной стиль однозначного объяснения природы. Ньютон создал основы теории гравитационного поля, он вывел закон тяготения, определяющий силу тяготения, которая действует на данную массу в любой точке пространства, если заданы масса и положение тела, служащего источником сил тяготения, т.е. притягивающего к себе другие тела:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \frac{\bar{r}}{r}.$$

Здесь  $F$  — сила взаимодействия;  $m_1, m_2$  — массы тел 1 и 2;  $r$  — расстояние между ними;  $\bar{r}$  — единичный вектор, проведенный в направлении действия силы  $F$ ;  $G$  — гравитационная постоянная.

Динамические законы Ньютона не только следуют из соответствующих кинематических законов Галилея и Кеплера, но и сами могут быть положены в основу всех трех кинематических законов Кеплера и обоих кинематических законов Галилея, а также всевозможных теоретически ожидаемых отклонений от них из-за сложного строения и взаимных гравитационных возмущений взаимодействующих тел.

Единую механику для всех земных и небесных тел с общими для них законами инерции, динамики, действия и противодействия, а также взаимного тяготения впервые создал И. Ньютон.

Согласно механической теории И. Ньютона гравитационные силы связывают все без исключения тела природы, и это является не специфическим, а общим взаимодействием. Законы тяготения определяют отношение материи к пространству и всех материальных тел друг к другу. Тяготение создает в этом смысле реальное единство Вселенной. Объяснение характера движения небесных тел и даже предсказание новых планет Солнечной системы было триумфом ньютоновской теории тяготения.

Поэтому долгое время в науке стала доминировать **механистическая картина мира**. Здесь можно выделить четырех следующих принципиальных моментов:

1. Мир строился на едином фундаменте — на законах механики Ньютона. Все наблюдаемые в природе превращения, а также тепловые явления на уровне микроявлений сводились к механике атомов и молекул — их перемещениям, столкновениям, сцеплениям, разъединениям. Откры-

тие в середине XIX в. закона сохранения и превращения энергии, казалось, окончательно доказывало механическое единство мира.

2. В механистической картине мира все причинно — односторонние следственные связи с доминированием детерминизма Лапласа.

3. В механистической картине мира отсутствует развитие — мир в целом таков, каким он был всегда. Механистическая картина мира фактически отвергала качественные изменения, сводя все к изменениям чисто количественным.

4. Механистическая картина исходила из представления, что микромир аналогичен макромиру.

По самой своей сути эта картина мира являлась метафизической, все многообразие мира сводилось к механике.

Во второй половине XIX в. на основе исследований М. Фарадея и Д. Максвелла возникла **электромагнитная картина мира**. Согласно этой картине материя существует в двух видах — в виде вещества и в виде поля, причем между указанными видами материи имеется непреходимая грань: вещество не превращается в поле, а поле не превращается в вещество.

Количественное изучение электрических явлений началось с работ Кулона (1785 г.), открывшего сначала закон взаимодействия электрических зарядов и позднее распространившего его на взаимодействие «магнитных зарядов». Однако вплоть до 1820 г. электрические и магнитные явления рассматривали как различные явления, не связанные между собой.

Открытие Эрстедом в 1820 г. магнитных свойств тока показало, что между магнитными и электрическими явлениями существует связь и что магнитные действия можно получить при помощи электрических токов. Магнитное действие токов было детально изучено Ампером, который пришел к заключению, что все магнитные явления в природе, в том числе и связанные с постоянными магнитами, вызваны электрическими токами (теория молекулярных токов Ампера).

Дальнейшим результатам того периода мы обязаны Фарадею. Из них особое значение имело открытие электромагнитной индукции. Фарадей исходил из основной идеи о взаимной связи явлений природы. Он считал, что если ток способен вызывать магнитные явления, то и, наоборот, при помощи магнитов или других токов можно получить

электрические токи. В результате настойчивости и многих попыток Фарадей действительно открыл в 1831 г. это явление, которое еще более укрепило представление о связи между электричеством и магнетизмом.

Второй важнейшей идеей в работах Фарадея было признание основной, определяющей роли промежуточной среды в электрических явлениях. Фарадей не допускал действия на расстоянии, которое, как сейчас хорошо известно, физически бессодержательно, и считал, что электрические магнитные взаимодействия передаются промежуточной средой и что именно в этой среде разыгрываются основные электрические и магнитные процессы.

В работах Максвелла идеи Фарадея подверглись дальнейшему углублению и развитию и были преобразованы в строгую математическую теорию. В теории Максвелла мысль о тесной связи электрических и магнитных явлений получила окончательное оформление в виде двух основных положений теории. Поэтому теория Максвелла явилась завершением важного этапа в развитии учения об электричестве и привела к классическому представлению об электрическом поле, содержащем в общем случае и электрическое, и магнитное поля, связанные между собой и способные взаимно превращаться друг в друга.

Уравнения Максвелла содержат все фундаментальные законы электрического и магнитного полей, включая электромагнитную индукцию, и поэтому являются общими уравнениями электромагнитного поля в покоящихся средах.

Теория Максвелла не только объяснила уже известные факты, но и предсказала новые и важные явления. Совершенно революционным в этой теории явилось предположение Максвелла о магнитном поле токов смещения. На основе этого предположения Максвелл теоретически предсказал существование электромагнитных волн, т.е. электромагнитной теории света, согласно которой свет представляет собой также электромагнитные волны. В дальнейшем электромагнитные волны действительно были получены на опыте, а еще позднее электромагнитная теория света, а с нею и вся теория Максвелла получили полное и блестящее подтверждение.

Если в XVIII в. стремились свести все к механике, то теперь все, включая и ряд механических явлений (например, трение, упругость), стремятся свести к электромагнетизму. Вне сферы электромагнетизма остается только тяготение.

В качестве элементарных структур, из которых построена вся материя, рассматриваются всего три частицы — электрон, протон и фотон. Фотоны — кванты электромагнитного поля. При рассмотрении электромагнитного поля наряду с волновыми используются также корпускулярные (фотонные) представления, утвердившиеся в естествознании как корпускулярно-волновой дуализм.

Электромагнитная картина мира сформировалась не только в XIX в., она продолжала формироваться в течение трех десятилетий XX в. Она использовала не только учение об электромагнетизме и достижения атомистики, но также некоторые идеи современной физики. Исследуя проблемы теплового излучения и фотоэффекта, Альберт Эйнштейн в самом начале XX столетия пришел к выводу о квантовании энергии светового излучения, а в 1916 г. он ввел в рассмотрение понятие порции самого излучения (световые кванты), обладающие не только определенной энергией, но и определенным импульсом. С 1926 г. световые кванты стали называться фотонами. Таким образом, стали известны два типа полей — электромагнитное и гравитационное. Соответственно есть два фундаментальных взаимодействия.

Конечно, электромагнитная картина мира по сравнению с механистической представляла собой значительный шаг вперед в познании окружающего мира. Многие детали электромагнитной картины мира сохранились в современной естественно-научной картине мира: понятие физического поля, электромагнитная природа сил, ядерная модель атома, дуализм корпускулярных и волновых свойств и многое другое. В то же время в электромагнитной картине мира, как и в механистической, господствовали однозначные причинно-следственные связи, по-прежнему все было жестко определено, характерна метафизическая омертвелость, внутренние противоречия отсутствовали. Открытые Максвеллом и Больцманом вероятностные закономерности не признавались фундаментальными и не включались ни в механистическую, ни в электромагнитную картину мира. Столь же однозначными, жесткими представлялись и максвелловские законы, управляющие электромагнитным полем.

XIX в. подвел к пониманию диалектики природы, но сам век еще оставался на позициях метафизического материализма. Нужен был диалектический материализм.

### 3.4. Современная естественно-научная картина мира

Кто в состоянии найти в своем сердце столь  
мощную силу, чтобы достойно воспеть все  
величие наших открытий.

*Лукреций Кар*

Современная естественно-научная картина мира является результатом синтеза систем мира древности, античности, гео- и гелиоцентризма, механистической, электромагнитной картин мира и опирается на научные достижения современного естествознания.

В конце XIX и начале XX в. в естествознании были сделаны крупнейшие открытия, которые коренным образом изменили наши представления о картине мира. Прежде всего это открытия, связанные со строением вещества, и открытия взаимосвязи вещества и энергии.

Современное естествознание представляет окружающий материальный мир Вселенной однородным, изотропным и расширяющимся. Материя в мире находится в форме вещества и поля. По структурному распределению вещества окружающий мир разделяется на три большие области: микромир, макромир и мегамир. Между структурами существуют четыре фундаментальных вида взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное, которые передаются посредством соответствующих полей. Существуют кванты всех фундаментальных взаимодействий.

Если раньше последними неделимыми частицами материи, своеобразными кирпичиками, из которых состоит природа, считали атомы, то в конце прошлого века были открыты электроны, входящие в состав атомов. Позднее было установлено строение ядер атомов, состоящих из протонов (положительно заряженных частиц) и нейтронов.

Согласно первой модели атома, построенной английским ученым Эрнестом Резерфордом, атом уподоблялся миниатюрной солнечной системе, в которой вокруг ядра вращаются электроны. Энергия излучается и поглощается атомом в виде квантов или порций энергии только при переходе электрона с одной орбиты на другую.

В 30-е гг. XX в. было сделано важнейшее открытие, которое показало, что элементарные частицы вещества, например электроны, обладают не только корпускулярными, но и волновыми свойствами. Это явление получило назва-

ние дуализма волны и частицы — представление, которое никак не укладывалось в рамки обычного здравого смысла. До этого физики придерживались убеждения, что вещество, состоящее из разнообразных материальных частиц, может обладать лишь корпускулярными свойствами, а энергия поля — волновыми свойствами. Соединение в одном объекте корпускулярных и волновых свойств совершенно исключалось. В 1925—1927 гг. для объяснения процессов, происходящих в мире мельчайших частиц материи — микромире, была создана новая волновая, или квантовая, механика. Впоследствии возникли и разнообразные другие квантовые теории: квантовая электродинамика, теория элементарных частиц и прочие, которые исследуют закономерности движения микромира.

Таким образом, в современной естественно-научной картине мира как вещество, так и поле состоят из элементарных частиц, а частицы взаимодействуют друг с другом, взаимопревращаются. На уровне элементарных частиц происходит взаимопревращение поля и вещества. Так, фотоны могут превратиться в электронно-позитронные пары, а эти пары в процессе взаимодействия уничтожаются (аннигилируются) с образованием фотонов. Более того, вакуум тоже состоит из частиц (виртуальных частиц), которые взаимодействуют как друг с другом, так и с обычными частицами. Таким образом, исчезают фактически границы между веществом и полем и даже между вакуумом, с одной стороны, и веществом и полем — с другой. На фундаментальном уровне все грани в природе действительно оказываются условными.

Другая фундаментальная теория современной физики — теория относительности, в корне изменившая научное представление о пространстве и времени. В специальной теории относительности получил дальнейшее применение установленный еще Галилеем принцип относительности в механическом движении. Важный методологический урок, который был получен из специальной теории относительности, состоит в том, что все движения, происходящие в природе, имеют относительный характер; в природе не существует никакой абсолютной системы отсчета и, следовательно, абсолютного движения, которые допускала ньютоновская механика. Здесь пространство и время носят относительный характер.

Еще более радикальные изменения в учении о пространстве и времени произошли в связи с созданием общей тео-



рии относительности, которую нередко называют новой теорией тяготения, принципиально отличной от классической ньютоновской теории. Согласно этой теории впервые ясно и четко установлена связь между свойствами движущихся материальных тел и их пространственно-временной метрикой. Теоретические выводы из нее были экспериментально подтверждены во время наблюдения солнечного затмения. Соответственно предсказаниям теории луч света, идущий от далекой звезды и проходящий вблизи Солнца, должен отклониться от своего прямолинейного пути и искривиться, что и было подтверждено наблюдениями. Общая теория относительности показала глубокую связь между движением материальных тел (а конкретно, их масс) и геометрической структурой физического пространства-времени.

В современной естественно-научной картине мира наблюдается теснейшая связь между всеми естественными науками: здесь время и пространство выступают как единый пространственно-временной континуум, масса и энергия взаимосвязаны, волновое и корпускулярное движения, в известном смысле, объединяются, характеризуя один и тот же объект; наконец, вещество и поле взаимно превращаются. Поэтому в настоящее время предпринимаются настойчивые попытки создать единую теорию всех взаимодействий. Включение гравитации в существующие теоретические схемы вынуждает привлекать такие сложные теоретические конструкции, как многомерные пространства, суперсимметрии, суперструны и т.п. Важно, что, как и для других полей, в основе описания гравитационного взаимодействия должны лежать квантовые закономерности. Классическое гравитационное поле и связанное с ним классическое «пространство-время» являются приближениями, допустимыми в определенных условиях.

Как механистическая, так и электромагнитная картины мира были построены на динамических, однозначных закономерностях. В современной картине мира вероятностные закономерности оказываются фундаментальными, не сводимыми к динамическим. Случайность стала принципиально важным атрибутом. Она выступает здесь в диалектической взаимосвязи с необходимостью, что и предопределяет фундаментальность вероятностных закономерностей.

Научно-техническая революция, развернувшаяся в последние десятилетия, внесла много нового в наши представления о естественно-научной картине мира. Воз-

никновение **системного подхода** позволило взглянуть на окружающий мир как единое, целостное образование, состоящее из огромного множества взаимодействующих друг с другом систем. С другой стороны, появление тако-го междисциплинарного направления исследований, как **синергетика**, или учение о **самоорганизации**, дало возможность не только раскрыть внутренние механизмы всех эволюционных процессов, которые происходят в природе, но и представить весь мир как мир самоорганизующихся процессов. Значение синергетики состоит прежде всего в том, что она впервые показала, что процессы самоорганизации могут происходить в простейших системах неорганической природы, если для этого имеются необходимые условия (открытость системы и ее неравновесность, достаточное удаление от точки равновесия и некоторые другие). Чем сложнее система, тем более высокий уровень имеют в них процессы самоорганизации. Особая важность синергетики и возникшей на ее основе новой концепции самоорганизации состоит в том, что они помогают взглянуть на природу как на мир, находящийся в процессе непрестанной эволюции и развития.

В наибольшей мере новые мировоззренческие подходы к исследованию естественно-научной картины мира и ее познания коснулись наук, изучающих живую природу. Переход от клеточного уровня исследования к молекулярному ознаменовался крупнейшими открытиями в биологии, связанными с расшифровкой генетического кода, пересмотром прежних взглядов на эволюцию живых организмов, уточнением старых и появлением новых гипотез о происхождении жизни и со многим другим. Такой переход стал возможен в результате взаимосвязи различных естественных наук, широкого использования в биологии точных методов физики, химии, теории информации и средств вычислительной техники.

Революционные преобразования в естествознании означают коренные, качественные изменения в концептуальном содержании его теорий, учений и научных дисциплин при сохранении преемственности в развитии науки, и прежде всего ранее накопленного и проверенного эмпирического материала. Среди них в каждый определенный период выдвигается наиболее общая или фундаментальная теория, которая служит парадигмой или образцом для объяснения известных фактов и предсказания неизвестных фактов. Такой парадигмой в свое время служи-

ла теория движения земных и небесных тел, построенная Ньютоном, поскольку на нее опирались все ученые, изучавшие конкретные механические процессы. Точно так же все исследователи, изучавшие электрические, магнитные, оптические и радиоволновые процессы, основывались на парадигме электромагнитной теории, которую построил Д. К. Максвелл. Понятие парадигмы для анализа научных революций подчеркивает важную их особенность — смену прежней парадигмы новой, переход к более общей и глубокой теории исследуемых процессов.

Все прежние картины мира создавались как бы извне: исследователь изучал окружающий мир отстраненно, вне связи с собой, в полной уверенности, что можно исследовать явления, не нарушая их течения. Такова была веками закреплявшаяся естественно-научная традиция. Теперь научная картина мира создается уже не извне, а изнутри, и сам исследователь становится неотъемлемой частью создаваемой им картины. Очень многое еще неясно и скрыто от нашего взора. Тем не менее сейчас перед нами разворачивается грандиозная гипотетическая картина процесса самоорганизации материи от «Большого Взрыва» до современного этапа, когда материя познает себя, когда ей присущ разум, способный обеспечить ее целенаправленное развитие.

Наиболее характерной чертой современной естественно-научной картины мира является ее эволюционность. Эволюция происходит во всех областях материального мира: в неживой природе, живой природе и социальном обществе.

## Выводы

1. Стремление к единству многообразного окружающего мира получило одно из своих воплощений в астрономических догадках мыслителей Древнего Востока, античной Греции и Рима. Принципиальную основу новому этапу в развитии представлений об устройстве Вселенной заложила *гелиоцентрическая система Н. Коперника*.

2. Галилей своими астрономическими открытиями привел новые аргументы в пользу идеи физической однородности Вселенной и тем самым способствовал окончательному преодолению аристотелевского принципа субстанциональной противоположности Земли и неба. Всеобщий синтез физического знания затем был произведен И. Ньютоном, заложившим фундамент величественного здания классической физики и содержавшим програм-

му будущего развития науки. Так началось построение механистической картины мира, охватывающей все виды материи от корпускул света и атомов вещества до планет и Солнца включительно.

3. Во второй половине XIX в. на основе исследований М. Фарадея и Д. Максвелла возникла *электромагнитная картина мира*. Если в XVIII в. стремились свести все к механике, то теперь все стараются свести к электромагнетизму. Вне сферы электромагнетизма остается только тяготение. В электромагнитной картине, как и в механистической, господствовали однозначные причинно-следственные связи.

4. В современной естественно-научной картине мира наблюдается теснейшая связь между всеми естественными науками, здесь время и пространство выступают как единый пространственно-временной континуум, масса и энергия взаимосвязаны, волновое и корпускулярное движения, в известном смысле, объединяются, характеризуя один и тот же объект, наконец, вещество и поле взаимно превращаются.

5. Можно выделить *четыре этапа становления картины мира*: преднаучную, механистическую, электромагнитную и эволюционную. В современной естественно-научной картине мира имеет место саморазвитие, она эволюционна и необратима. В ней естественно-научное знание неразрывно связано с гуманитарным.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

В истории мы черпаем мудрость;  
в поэзии — остроумие; в математике —  
проницательность; в естественных науках —  
глубину; в нравственной философии —  
серьезность; в логике и риторике — умение  
спорить.

Ф. Бэкон

### План семинара

1. Система мира античных философов.
2. Система мира К. Птолемея и Н. Коперника.
3. Механистическая картина мира.
4. Электромагнитная картина мира.
5. Современная естественно-научная картина мира.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Астробиология** — раздел биологии, изучающий проблемы существования жизни на других небесных телах Вселенной.

**Астроботаника** — отрасль науки, занимающаяся изучением возможных свойств растений на других планетах.

**Астрология** (греч. «astron» — звезда + «логия» — закон) — древнее учение, утверждающее, что по взаимному расположению небесных светил можно предсказывать явления природы, эпидемии, судьбы государств и отдельных людей.

**Астрометрия** — древнейший раздел астрономии, занимающийся определением точных положений на небе небесных тел и их изменений со временем.

**Астронавтика** — иначе космонавтика — теория и практика полетов в космическом пространстве.

**Астрофизика** — раздел астрономии, изучающий все многообразие физических явлений во Вселенной: физическую природу небесных тел, их внутреннее строение, химический состав, возраст, образование, развитие, взаимодействие друг с другом.

**Вселенная** — весь материальный мир, безграничный в пространстве, развивающийся во времени, окружающий нас и познаваемый нами.

**Гелиоцентрическая система строения мира** — система строения мира, разработанная в античный период, изложенная К. Птолемеем, в которой в центре мира находится неподвижная шарообразная Земля, а вокруг по деферентам и эпициклам обращаются Луна, Солнце, пять планет и сфера неподвижных звезд.

**Деферент** — сферы, по которым движутся Луна, Солнце и центры эпициклов планет в геоцентрической системе строения мира.

**Календарь** — система счисления длительных промежутков времени, основанная на периодичности таких явлений природы, как смена фаз Луны, смена времен года.

**Космос** (греч. — строй, порядок, мир, Вселенная) — синоним астрономического определения Вселенной. Часто выделяют так называемый ближний космос — межпланетную и околоземную сферу, исследуемую при помощи космических летательных аппаратов, межпланетных станций

и искусственных спутников Земли, а также дальний космос — мир звезд и галактик.

**Система мира** — это представления о расположении в пространстве и движении Земли, Солнца, Луны, планет, звезд и других небесных тел.

**Телеология** (греч. «telos» — цель + логия) — воззрение, считающее, что всякое развитие в мире служит осуществлению заранее predetermined целей.

**Эпицикл** — в геоцентрической системе строения мира по деференту движется не сама планета, а центр другой окружности несколько меньших размеров, так называемый эпицикл.

**Эра** (лат. «aere» — 1) — система счета лет, при которой существует различный выбор начала отсчета.

### Задачи и упражнения

Ниже приведены суждения философов и естествоиспытателей о проблеме бесконечности материи в пространстве и времени. Какая из точек зрения вам представляется наиболее аргументированной? Как соотносятся между собой понятия «мир», «материя», «Вселенная» в этих высказываниях?

1. Бесконечность материального мира — это его неисчерпаемость, обусловленная несотворимостью и неуничтожимостью материи, бесконечной превращаемостью ее форм (П. В. Копнин).

2. Если пространство конечно, значит, за его границей существует нечто непространственное и, следовательно, нематериальное (А. Г. Спиркин).

3. Не исключено также, что Вселенная имеет конечные размеры, что пространство наше, отмеряемое от заданной точки, имеет конечный радиус (М. А. Марков).

### Тестовые задания

1. Где впервые была создана единая естественно-научная картина мира?

- а) Египет;
- б) Вавилон;
- в) Китай, Индия;
- г) Античный период (Греция, Рим);
- д) Европа (Н. Коперник).

2. Кто считается основателем теории структуры материи?

- а) Пифагор;
- б) Платон;
- в) Демокрит;
- г) Аристотель;
- д) Бируни;
- е) Авиценна.

3. Кем из отмеченных мыслителей высказана первым мысль о шарообразности Земли?

- а) Пифагор;
- б) Аристотель;
- в) Птолемей;
- г) Бируни;
- д) Коперник;
- е) Демокрит.

4. Кто впервые предложил геоцентрическую систему строения мира?

- а) Пифагор;
- б) Платон;
- в) Аристотель;
- г) Птолемей;
- д) Коперник.

5. Кто предложил все движения тел разделять на естественные и насильственные?

- а) Эпикур;
- б) Платон;
- в) Пифагор;
- г) Аристотель;
- д) Демокрит;
- е) Кеплер.

6. Кто из восточных мыслителей создал точный звездный каталог?

- а) Насир-эд-дин Туси;
- б) Аль-Баттани;
- в) Абу Райхан Бируни;
- г) Улугбек;
- д) Аверроэс;
- е) Авиценна.

7. Какая система строения мира изложена во II в. до н.э. К. Птолемеем в труде «Альмагест»?

- а) пироцентрическая;

- б) гелиоцентрическая;
  - в) геоцентрическая;
  - г) атомистическая;
  - д) континуальная;
  - е) эволюционная.
8. Какая картина мира создана трудами М. Фарадея и Д. Максвелла?
- а) пироцентрическая;
  - б) геоцентрическая;
  - в) гелиоцентрическая;
  - г) механистическая;
  - д) электромагнитная;
  - е) современная.
9. Какая картина мира создана трудами И. Кеплера и И. Ньютона?
- а) пироцентрическая;
  - б) геоцентрическая;
  - в) гелиоцентрическая;
  - г) механистическая;
  - д) электромагнитная;
  - е) современная.
10. Кто впервые предложил гелиоцентрическую систему мира?
- а) Птолемей;
  - б) Коперник;
  - в) Аристотель;
  - г) Бруно;
  - д) Кеплер;
  - е) Ньютон.
11. Кто первым высказал мысль о бесконечности Вселенной и возможности внеземных цивилизаций?
- а) Аристотель;
  - б) Птолемей;
  - в) Коперник;
  - г) Кеплер;
  - д) Бруно;
  - е) Ньютон.
12. Какое из определений наиболее характерно для современной естественно-научной картины мира?
- а) сущностная;
  - б) механистическая;



- в) электромагнитная;
- г) эволюционная;
- д) научная;
- е) динамическая;
- ж) статическая.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Что представляет собой картина мира?
2. Какие представления о мире были в древности и античности?
3. Назовите основные принципы атомистического учения о природе, обоснованные Демокритом.
4. Какие положения отличают физику Аристотеля?
5. Что такое геоцентрическая и гелиоцентрическая модели устройства мира?
6. Покажите роль Ньютона в истории естествознания.
7. В чем состоят преимущества и недостатки механистической картины мира?
8. Какое значение имеют в современной науке принципы лапласовского детерминизма?
9. Какой новый вклад в картину мира вносит электромагнитная теория?
10. Каковы причины перехода от классического к неклассическому описанию природы? В чем его сущность?
11. Покажите значение книги Дарвина «Происхождение видов».
12. Какие этапы проходит естествознание в своем историческом развитии?
13. Почему время от времени происходит радикальное изменение естественно-научной картины мира?
14. Что такое научная революция? С чего она обычно начинается, чем сопровождается и чем заканчивается?
15. В чем состоят особенности революции естествознания в конце XIX — начале XX в.?
16. В чем изменились взгляды на природу в связи с исследованием процессов в микромире?
17. Каковы основополагающие концепции современной картины мира?
18. В чем отличие химии от алхимии, астрономии от астрологии?

### **Тематика рефератов**

1. Современная научная картина мира.
2. От физики Декарта к физике Максвелла.

3. Астрология: мифы и реальность.
4. Гелиоцентрическая система мира.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Кузнецов, В. И.* Естествознание / В. И. Кузнецов, Г. М. Идлис, В. Н. Гутина. — М., 1996. — Гл. 2. — С. 53—73.
3. *Философские вопросы естествознания.* — М., 1985. — С. 21—36, 319—331.
4. *Дышлевский, П. С.* Что такое общая картина мира / П. С. Дышлевский, Л. В. Яценко. — М., 1984. — 236 с.
5. *Философский энциклопедический словарь.* — М., 1989. — С. 396—397.
6. *Кун, Т.* Структура научных революций. — М., 1975. — 324 с.

## Глава 4

# КОНЦЕПЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

### 4.1. Понятие пространства и времени

Два часа, проведенные в обществе любимой девушки, покажутся вам минутой. Напротив, если вам придется минуту посидеть на раскаленной докрасна печке, то эта минута покажется двумя часами. Вот это и есть относительность времени.

*А. Эйнштейн*

Когда говорят, что все явления природы и процессы происходят в пространстве и времени, подразумевают при этом, что для их описаний требуется указание места, где они происходят, и времени, когда происходят. То, что происходит в данной точке и в данный момент времени, называют элементарным событием. Совокупность же всех возможных событий принято называть миром, где каждому отдельному событию соответствует мировая точка, а процессу, т.е. последовательности элементарных событий, — мировая линия.

Реальное пространство принимается трехмерным, а время одномерным. Поэтому положение произвольной точки задается тремя числами или параметрами, а время — одним числом. Способ, посредством которого каждому событию ставится в соответствие набор четырех чисел, называют системой отсчета.

При практическом построении координатной системы отсчета выбирают тело отсчета или совокупность тел отсчета и некоторую точку — начало отсчета, а также три фиксированных направления — оси координат. К ним добавляют эталонный масштаб длины, позволяющий определять рас-

стояния, единицы угловых измерений, а также соответствующие приборы и инструменты, с помощью которых находят три параметра, которые принимаются в качестве координат выбранной точки.

Для измерения промежутков времени и определения моментов наступления событий задаются начало отсчета времени и эталонные часы, причем предполагается, что часами снабжены все точки пространства и часы синхронизированы между собой. Под часами понимают любой строго периодический процесс, продолжительность которого принимается за единицу.

Пространство и время традиционно рассматривались в философии и науке как основные формы существования материи, ответственные за расположение, структурность и протяженность отдельных элементов материи друг относительно друга и за закономерную координацию сменяющихся друг друга явлений. Характеристиками пространства считались однородность-одинаковость свойств во всем пространстве и изотропность — независимость свойств от направления. Время также считалось однородным, т.е. любой процесс в принципе повторим через некоторый промежуток времени. С этим свойством связана симметрия мира, которая имеет большое значение для его познания. Пространство рассматривалось как трехмерное, а время как одномерное и идущее в одном направлении — от прошлого к будущему. Время необратимо, но во всех физических законах от перемены знака времени на противоположный ничего не меняется и, стало быть, физически будущее неотлично от прошедшего.

Таким образом, **пространство** есть всеобщая объективная форма существования материи, являющаяся необходимым условием возникновения и движения конкретных материальных систем. Понятие пространство выражает:

- взаимное расположение материальных систем (объектов): впереди, позади, вне, внутри, около, далеко, близко и т.д.;
- способность их занимать определенный объем, иметь протяженность — длину, ширину и высоту;
- свойство материальных объектов иметь определенную форму, структуру.

**Время** есть всеобщая объективная форма существования движущейся материи, являющаяся необходимым условием возникновения и изменения конкретных материальных систем и выражающая структурность, темп и длительность

материальных процессов и объективную последовательность событий.

Следовательно, понятие «время» выражает также всеобщее свойство материальных систем и процессов как:

- длительность существования предметов, систем и развития их отдельных фаз, сторон, ступеней и т.д.;

- порядок следования и смену состояний, известную последовательность процессов (до, после, одновременно и т.п.).

Пространство и время — это не самостоятельные сущности, а коренные формы бытия, существования движущихся материальных систем. Пространство и время представляют собой формы, в которых проявляется активность материи. Им присущи такие всеобщие свойства, как объективность, безграничность и бесконечность, единство абсолютности и относительности, прерывности и непрерывности. Так, например, они абсолютны в том смысле, что составляют всеобщие условия всякого бытия; они относительны, потому что в своих конкретных свойствах зависят от состояния движущейся материи.

Несмотря на наличие общих свойств, пространство и время имеют свою специфику, а в ряде существенных свойств они различны. Пространство трехмерно и обладает свойством симметрии, а время — одномерно и однонаправленно, течет от прошлого к настоящему и от него к будущему. В одномерном времени, его необратимости выражены непосредственный характер связи между меняющимися состояниями материальных объектов, а также общая тенденция следования одних материальных явлений за другими, переход от низших форм к высшим, от простых к более сложным системным образованиям.

Пространство и время есть единство бесконечного и конечного. Бесконечность пространства проявляется абсолютным характером движущейся материи, отсутствием каких-либо конечных, застывших состояний, неисчерпаемость в структурном отношении и качественных превращений материи. Бесконечность времени состоит в том, что материя вечна в прошлом и будущем, что время — это всеобщая форма существования бесконечной материи.

Конечность пространства выражается в прерывности движения, дискретности и дифференцированности материальных систем. Точно так же время складывается из бесконечного множества длительностей существования отде-

льных материальных систем, где протекают необратимые процессы.

В физике теория пространства и времени с метафизических позиций была обоснована Ньютоном. Он различал абсолютные и относительные пространство и время. Относительные пространство и время — это чувственно воспринимаемые зависимости между материальными телами, абсолютные — это математические пространство и время, которые независимы от материи, друг от друга и составляют пустые емкости для материи. Тела, находясь в пространстве и двигаясь в нем, не взаимодействуют с ним. Пространство, по Ньютону, является абсолютной системой отсчета и остается всегда неподвижным, однородным, обладает всюду, во всех точках и направлениях одинаковыми геометрическими свойствами. Время Ньютон определял как чистую длительность и считал, что оно так же, как пространство, служит абсолютной системой отсчета, благодаря чему якобы становится возможным измерение во времени тех или иных реальных процессов, происходящих в пустом пространстве. Но эти реальные процессы, происходящие во времени, не взаимодействуют с абсолютным временем. Это был метафизический взгляд на пространство и время, применительно к механическим процессам. При этом основой пространственных понятий в механике Ньютона служила геометрия Евклида с ее представлением об однородности и действительности свойств всего бесконечного пространства.

Создание в первой половине XIX в. Н. Лобачевским, а затем Б. Риманом неевклидовой геометрии устранило один из основных доводов в пользу ньютоновой концепции пространства и времени — наличие только одной евклидовой геометрии. Так, геометрия, созданная Н. Лобачевским, отражает новые, неизвестные ранее, свойства пространства. Она исходит из материалистического принципа зависимости геометрических свойств пространства от материи, от происходящих материальных процессов. Идеи Лобачевского значительно подорвали метафизическое представление об однородности и абсолютности пространства. Вместе с тем эти новые идеи явились сильнейшим ударом по априоризму Канта, который рассматривал пространство и время как априорные формы человеческого созерцания, предшествующие всякому опыту. Тем самым Лобачевский показал, что пространственные формы присущи самому объективному миру и что геометрические положения от-

ражают свойства реального пространства, имеют опытное происхождение.

Идеи Лобачевского получили свое дальнейшее развитие в теории относительности А. Эйнштейна. Согласно теории относительности Эйнштейна время и пространство существуют сами по себе и находятся в прямой неразрывной связи с движущейся материей. Теория относительности, которая включает в себя частную и общую теорию относительности, вскрыла конкретные формы органичной взаимосвязи пространства и времени. Установила их зависимость от распределения и движения материи, показав тем самым, что пространство и время не существуют отдельно друг от друга и от материи и что они не являются абсолютными в смысле классической физики.

## 4.2. Измерение времени

Река времени в своем стремлении  
Уносит все дела людей  
И топит в пропасти забвения  
Народы, царства и царей.

*Г. Державин*

Исторически измерение времени принято проводить на основе вращения Земли вокруг оси и обращения Земли вокруг Солнца. Единицу первого периода называют сутками, а единицу второго — годом. Солнечными сутками называют промежуток времени, в течение которого Земля совершает один полный оборот вокруг своей оси относительно Солнца. Из-за годичного обращения Земли вокруг Солнца, которое происходит неравномерно и под углом  $23^{\circ}27'$  к экватору, солнечные сутки в году неодинаковые. Поэтому используют средние солнечные сутки продолжительностью 24 ч. Деление суток на 24 доли началось с древних египтян, когда они определяли движение неба за сутки по 24 созвездиям (деканам). За начало суток принята полночь. Следовательно, среднее солнечное время — это промежуток времени от нижней кульминации Солнца (прохождение Солнца через небесный меридиан в полночь) до любого его другого положения, выраженное в долях средних солнечных суток. 24-я доля — час, 60-я доля часа — минута, 60-я доля минуты — секунда.

Среднее солнечное время данного географического меридиана называют местным временем. Оно увеличивается к востоку. За начало местных времен принят Гринвичский меридиан, местное время которого называют всемирным временем. Пользоваться местным временем в близкорасположенных местах неудобно. Поэтому по предложению канадского инженера Флеминга в 1884 г. введено поясное время. Поверхность Земли разбита на 24 часовых пояса вокруг 24 основных меридианов, проходящих через  $15^\circ$  по долготе. Местное время основного меридиана принято за время всего пояса и называется поясным временем. Начало суток принято считать с демаркационной линии или линии перемены даты, проведенной на  $180^\circ$  от Гринвичского меридиана. При переходе с запада на восток, с одного часового пояса на другой время увеличивается на 1 ч, а при переходе с запада на восток, через демаркационную линию, число суток уменьшают на 1 сутки, а при обратном переходе делают наоборот. В целях рационального использования энергии за сутки вводят декретное или сезонное время, когда к поясному времени добавляют 1 ч на весь год или на сезон. Из-за неравномерности вращения Земли вокруг оси, обусловленной влиянием лунных, солнечных приливов, сезонных перераспределений водных, воздушных масс и других причин, за эталон времени принято атомное время. Эталонная секунда равна 9 192 631 770 периодам колебаний, соответствующим переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 — при отсутствии возмущений внешних полей.

Для измерения длительных промежутков времени используют календарь. Точный календарь должен быть близким к продолжительности тропического года и содержать целое число суток. Продолжительность тропического года, одного оборота Земли вокруг Солнца, составляет 365 суток 5 ч 48 мин 46 с, или 365,24220 средних солнечных суток. В истории народов было множество календарей. Наиболее распространенными из них являются лунный и солнечный. Лунный календарь основан на продолжительности синодического лунного месяца (промежутков времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны и равен 29,53 средних солнечных суток). Поэтому лунный календарь содержит 12 месяцев, из которых 6 имеют 30 суток, 6 — 29 суток. Продолжительность календарного года (354 суток) меньше, чем тропического года, на 11,2422 суток. Поэтому начало каждо-



го следующего года в лунном календаре встречаются на эту величину раньше. По продолжительности основных фаз Луны (новолуние, 1-я четверть, полнолуние, последняя четверть) возникла семидневная неделя в Вавилоне. Они назвали воскресенье днем Солнца, понедельник — Луны, вторник — Марса, среда — Меркурия, четверг — Юпитера, пятница — Венеры, суббота — Сатурна. Так называют дни недели многие европейские народы. Славянские народы дни недели называли: понедельник — 1-й день недели, вторник — 2-й день, среда — середина недели, четверг — 4-й день, пятница — 5-й день, суббота — иудейский праздник шаабат, воскресенье — христианский праздник.

Солнечный календарь возник в Египте. Вначале он содержал 360 суток. Видимо, отсюда пошло деление математиками окружности на  $360^\circ$ . Затем уточнили его до 365 суток. Затем в 46 г. до н.э. по предложению александрийского ученого Созигена Ю. Цезарь ввел календарь с високосными годами, называемый юлианским календарем. Три года считались здесь простыми и содержали по 365 суток, а четвертый, делящийся без остатка на 4 — високосный (повторный шестой). Продолжительность юлианского года 365,25 суток. Дальнейшее уточнение солнечного календаря сделал в 1582 г. папа римский Григорий XIII. Здесь, в отличие от юлианского календаря, високосными считаются только те, в которых сотни делятся на 4 без остатка. Продолжительность григорианского календарного года 365,2425 суток. Мы сейчас пользуемся григорианским календарем. Разделение года на 12 месяцев и их продолжительность перешли к нам от римского календаря. Начало года тогда было с марта и названо в честь их бога — покровителя Марса, апрель — от латинского названия — солнечный, май — в честь богини Земли Майи, июнь — в честь богини неба Юноны, июль — Юлия Цезаря, август — Октавиана Августа, сентябрь означает седьмой (септембер), октябрь — восьмой (октобер), ноябрь — девятый (ноovemбер), декабрь — десятый (децембер), январь — в честь двуликого бога времени Януса, февраль — месяц очищений перед новым годом. Позднее начало года перенесли на 1 января.

Начала летоисчислений в истории общества были различными: от сотворения мира, от основания Рима, от олимпийских игр, от проявления каких-то правителей. Нынешнее летоисчисление относят к рождеству Христову.

### 4.3. Пространство и время в специальной теории относительности

Отныне пространство само по себе и время само по себе обращаются в бесплотные тени; сохранит физический смысл лишь некоторая форма их объединения.

*Минковский*

Систем отсчета бесконечно много, но среди них можно выделить класс так называемых инерциальных. В инерциальных системах отсчета всякие свободно движущиеся объекты движутся равномерно и прямолинейно. Инерциальных систем отсчета можно выбрать сколь угодно, и все они будут относительно друг друга двигаться по инерции.

Нет критерия, благодаря которому можно было бы предпочесть одну инерциальную систему отсчета другой, также инерциальной. Все инерциальные системы отсчета являются физически эквивалентными, и опыт это подтверждает.

В классической механике был известен **принцип относительности** Галилея: если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе координат, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой, т.е. в инерциальных системах координат. В другой формулировке он звучит так: никакими опытами, проведенными в инерциальной системе отсчета, нельзя доказать, покоится система отсчета или движется равномерно, прямолинейно. Все законы механики во всех инерциальных системах отсчета проявляются одинаково. В инерциальных системах отсчета пространство и время носят абсолютный характер, т.е. интервал времени и размеры тел не зависят от состояния движения системы отсчета.

В начале XX в. выяснилось, что принцип относительности справедлив также в оптике и электродинамике, т.е. в других разделах физики. Принцип относительности теперь звучал так: законы физики имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета. Переход от одной инерциальной системы к другой осуществлялся в соответствии с преобразованиями Галилея. Скорость тела относительно неподвижной системы отсчета складывается из скорости тела и скорости системы отсчета.

При обобщении принципа относительности и распространении его на электромагнитные процессы постулирует-

ся постоянство скорости света, т.е. к скорости света не прибавляется скорость системы отсчета. Чем вызвано такое особое отношение к свету и его скорости как к эталону для измерения времени и пространства? Это связано с тем, что свет есть электромагнитная волна, являющаяся формой материи. Световой волне для распространения не требуется специальной материальной среды — «эфира» (как морским волнам нужна вода, звуку — воздух, вода или твердое тело). Причем скорость света не зависит от движения источника света или наблюдателя. Это утверждение обычно называют принципом относительности. По словам А. Эйнштейна, теория относительности начинается с двух положений:

1. Скорость света в вакууме одинакова во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

2. Все законы природы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

Таковы два основополагающих принципа — принцип постоянства скорости света и принцип относительности. Фактически принцип постоянства скорости света является следствием принципа относительности. Утверждение о постоянстве скорости света в вакууме, т.е. независимости скорости света от скорости источника и скорости наблюдателя, является естественным выводом из многих экспериментальных фактов и подтверждено многочисленными экспериментальными проверками. Главным же его подтверждением является соответствие с экспериментом всех выводов, которые из него следуют. Эти подтверждения очень многочисленны, потому что вся современная физика больших скоростей и высоких энергий основывается на постулате постоянства скорости света.

Тем не менее в своем абсолютном виде утверждение о постоянстве скорости света является постулатом, т.е. допущением, выходящим за пределы экспериментальной проверки. Это связано с конечной точностью экспериментальных проверок, как это было объяснено выше в связи с постулативным характером принципа относительности.

А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что закон постоянства распространения света в пустоте ( $300\,000\text{ км/с}$ ) и принцип относительности совместимы. Это положение составляет основу **специальной теории относительности**. Он отметил,

что классическая механика опиралась на две ничем не оправданные гипотезы:

1) промежуток времени между двумя событиями не зависит от состояния движения тела отсчета;

2) пространственное расстояние между двумя точками твердого тела не зависит от состояния движения тела отсчета.

Отсюда вытекало, что промежуток времени и расстояния имеют абсолютные значения, т.е. не зависят от состояния движения тела отсчета. И хотя эти предположения с точки зрения здравого смысла кажутся само собой очевидными, тем не менее они не согласуются с результатами тщательно проведенных экспериментов, подтверждающих выводы новой, специальной теории относительности.

Рассматривая возникшие противоречия в связи с тем, что скорость света выступает как универсальная постоянная природы, Эйнштейн предложил отказаться от представления об абсолютности и неизменности свойств пространства и времени. Данный вывод противоречит здравому смыслу и тому, что Кант называл условиями созерцания, поскольку мы не можем представить никакого пространства, кроме трехмерного, и никакого времени, кроме одномерного. Но наука совсем не обязательно должна следовать здравому смыслу и неизменным формам чувственности. Главный критерий для нее — соответствие теории и эксперимента. Теория Эйнштейна удовлетворяла этому критерию и была принята. В свое время и представления о том, что Земля круглая и движется вокруг Солнца, тоже казались противоречащими здравому смыслу и наблюдению, но именно они оказались справедливыми.

Из специальной теории относительности следует, что длина тела и длительность происходящих в нем процессов являются не абсолютными, а относительными величинами. При приближении к скорости света все процессы в системе замедляются, продольные (вдоль движения) размеры тела сокращаются и события, одновременные для одного наблюдателя, оказываются разновременными для другого, движущегося относительно него.

Если принять предположение классической механики об абсолютном характере расстояний и времени, то уравнения преобразования пространственных координат и времени при переходе от покоящейся системы отсчета  $O(x, y, z, t)$  и движущейся вдоль оси  $x$  относительно него равномерно

прямолинейно со скоростью  $v$  система отсчета  $O'$  ( $x', y', z', t'$ ) будут иметь следующий вид:

$$x' = x - vt; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = t.$$

Скромное равенство  $t' = t$  означало, что во всех системах отсчета время течет одинаково, слова «сейчас», «настоящий момент» имеют абсолютный смысл (факт, представлявшийся очевидным до начала XX столетия). Эти уравнения часто называют преобразованиями Галилея. Если же преобразования должны удовлетворять также требованию постоянства скорости света, то они описываются уравнениями Лоренца, названными по имени нидерландского физика Хендрика Антона Лоренца, и имеют вид:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z;$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Теперь следует говорить не о системе координат, а о системе отсчета, т.е. о совокупности системы координат и часов. Абсолютности времени больше нет, каждая система отсчета характеризуется своим собственным временем. Указывая момент времени, надо указывать также соответствующую систему отсчета. Все это явно проявляется лишь при достаточно больших относительных скоростях систем; если же  $v \ll c$ , то, как легко видеть, преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея — специальная теория относительности переходит в классическую механику как свой предельный случай.

Эйнштейн отмечал, что неподвижный наблюдатель воспринимает проносящееся мимо него шарообразное тело в виде сплюснутого эллипсоида вращения. С точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с телом, отмечает Эйнштейн, оно, как и прежде, сохраняет форму шара, однако все предметы, не движущиеся вместе с этим наблюдателем, точно таким же образом представляются ему укороченными в направлении движения. Этот результат оказывается не таким уж странным, если учесть, что это высказывание о размерах движущегося тела имеет весьма сложный смысл, поскольку теперь размеры тела можно определить только

с помощью измерения времени. Пространство и время рассматриваются теперь во взаимосвязи.

Опираясь на преобразования Лоренца, легко проверить, что движущаяся твердая линейка будет короче покоящейся и тем короче, чем быстрее она движется:

$$l_{\text{дв}} = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Если принять скорость света бесконечно большой, то при подстановке ее в уравнения Лоренца последние переходят в уравнения Галилея. Но специальная теория, как известно, постулирует постоянство скорости света. Этот постулат следует из уравнений электромагнитных процессов Максвелла. Для согласования с постулатами специальной теории относительности классическая механика нуждалась в некоторых изменениях. Например, если во втором законе Ньютона ( $F = ma$ ) масса  $m$  считалась постоянной, то в теории относительности она зависит от скорости движения и выражается формулой

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Когда скорость тела приближается к скорости света, масса его неограниченно растет и в пределе приближается к бесконечности. Поэтому согласно теории относительности движения со скоростью, превышающей скорость света, невозможны. Движения со скоростями, сравнимыми со скоростью света, впервые удалось наблюдать на примере электронов, а затем и других элементарных частиц. Тщательно поставленные эксперименты с такими частицами действительно подтвердили предсказания теории об увеличении их массы с возрастанием скорости.

В 1905 г. А. Эйнштейн пришел к заключению, что масса тела есть мера содержащейся в нем энергии. Позднее он формулирует, следующий важный вывод специальной теории относительности: масса и энергия эквивалентны друг другу — появляется знаменитая формула Эйнштейна, связывающая энергию и массу:

$$E = mc^2.$$

При достаточно больших скоростях (в этом случае говорят о «релятивистской физике») специальная теория относительности приводит к общему выражению для энергии:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Через  $m_0$  обозначена масса покоя (масса тела в системе отсчета, связанной с этим телом), а  $E$  — энергия тела, рассматриваемая в системе, относительно которой тело движется со скоростью  $v$ .

До создания специальной теории относительности законы сохранения энергии и массы рассматривались как два самостоятельных закона сохранения. Теперь же оба этих закона слились в один. По выражению Эйнштейна, масса должна рассматриваться как «сосредоточие колоссального количества энергии».

Таким образом, влияние специальной теории относительности выходит далеко за пределы тех проблем, из которых она возникла. Она снимает трудности и противоречия теории поля, формирует более общие механические законы, заменяет два закона сохранения одним, а также изменяет классическое понятие абсолютного времени. Ее ценность не ограничивается лишь сферой физики — она образует общий остов, охватывающий все явления природы.

Однако экспериментальные данные о постоянстве скорости света и вытекающая из этого относительность времени и пространства приводят к парадоксам, для разрешения которых понадобилось введение принципиально новых представлений. Например, одним из таких парадоксов является так называемый парадокс близнецов, рассмотренный в практическом занятии.

В настоящее время известно много экспериментальных подтверждений замедления времени. Замедление времени играет большую роль при работе на современных ускорителях, где часто приходится направлять частицы от источника их получения к далеко отстоящей мишени, с которой частица взаимодействует. Если бы не было эффекта замедления времени, то это было бы невозможно, потому что время прохождения этих расстояний зачастую в десятки и сотни раз больше собственного времени жизни частиц в состоянии покоя. В пользу этого говорят также наблюдения над элементарными частицами, названными мю-мезонами, или мюонами. Средняя продолжительность существования таких частиц около 2 мкс, но тем не менее некоторые из них, образующиеся на высоте 10 км, долетают до поверхности Земли. Как объяснить этот факт? Ведь при средней «жизни» в 2 мкс эти частицы могут проделать путь только 600 м.

Все дело в том, что продолжительность существования мюонов определяется по-разному для разных систем отсчета. С «их» точки отсчета они живут 2 мкс, с нашей же, земной — значительно больше, так что некоторые из них, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света, достигают поверхности Земли. Замедление времени равно

$$\Delta t_{\text{дв}} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Эксперименты, проведенные французским физиком Арманом Физо еще до открытия теории относительности по определению скорости распространения света в неподвижной жидкости и жидкости, протекающей с некоторой скоростью, также подтвердили выводы специальной теории относительности. С помощью тщательных измерений, многократно повторенных разными исследователями, было установлено, что результат сложения скоростей соответствует преобразованию Лоренца.

Наиболее выдающимся подтверждением этой теории был отрицательный результат опыта американского физика Альберта Майкельсона, предпринятый для проверки гипотезы о световом эфире. Согласно господствовавшим в то время воззрениям все мировое пространство заполнено эфиром — особым веществом, являющимся носителем световых волн. Чтобы обнаружить движение Земли относительно неподвижного эфира, Майкельсон решил измерить время прохождения светового луча по горизонтальному направлению движения Земли и направлению, перпендикулярному к этому движению. Если эфир существует, то время прохождения светового луча по горизонтальному и перпендикулярному направлениям должно быть неодинаковым, но никакой разницы Майкельсон не обнаружил.

*Пространство* — это трехмерный континуум. Трехмерный — потому что положение точки определяется в пространстве тремя числами (три пространственными координатами). *Континуум* означает непрерывность — около любой данной точки можно указать сколько угодно других точек, координаты которых могут быть сколь угодно близки к координатам заданной точки. Известно, что все события происходят в пространстве и во времени. Однако в классической физике пространство и время рассматривались как самостоятельные категории; время было абсолютным, оно не зависело от пространственных координат события. Со-



гласно же специальной теории относительности время нельзя рассматривать независимо от пространства, не имеет смысла говорить «сейчас», если не оговорено «где»; время и пространство оказались внутренне взаимосвязанными. Развивая идеи, высказанные еще в 1905 г. Пуанкаре, математик Г. Минковский дал в 1908 г. геометрически наглядное представление специальной теории относительности, введя четырехмерный пространственно-временной континуум (четырёхмерный мир Минковского). Всякое физическое событие есть некоторая точка в четырехмерном мире, она определяется четырьмя числами — тремя координатами и временем. События описываются как  $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0$ . В таком случае преобразования Лоренца могут рассматриваться формально как чисто геометрическое преобразование (поворот осей), выполняемое, однако, не в обычном трехмерном пространстве, а в четырехмерном континууме. Как отмечал Эйнштейн, даже не математику должно быть ясно, что благодаря этому чисто формальному положению теория относительности чрезвычайно выиграла в наглядности и стройности.

Итак, пространство и время — общие формы координации материальных явлений, а не самостоятельно существующие независимо от материи начала. Они называются в специальной теории относительности четырехмерным пространственно-временным миром.

Найденное Эйнштейном объединение принципа относительности Галилея с относительностью одновременности получило название **принципа относительности Эйнштейна**. Понятие относительности стало одним из основных понятий в современном естествознании.

#### 4.4. Общая теория относительности о пространстве и времени

Был этот мир глубокой тьмой окутан.  
Да, будет свет!  
И вот явился Ньютон.  
Но сатана недолго ждал реванша.  
Пришел Эйнштейн — и стало все, как  
раньше.

*А. Эддингтон*

В истории науки известны две концепции пространства: пространство неизменное как вместилище материи (взгляд

Ньютона) и пространство, свойства которого связаны со свойствами тел, находящихся в нем (взгляд Лейбница). В соответствии с теорией относительности любое тело определяет геометрию пространства.

Возникает вопрос, что произойдет, если вместо инерциальных систем взять другие системы отсчета, например движущиеся с ускорением? Ответ на него дает общая теория относительности, которая называется потому, что обобщает частный, или специальный принцип относительности. Эта удивительная теория была создана Эйнштейном в течение десяти лет, последовавших за созданием специальной теории относительности (период с 1905 по 1917 г.). Почему такой фундаментальный принцип, каким является принцип относительности, должен быть применим лишь к инерциальным системам? Не следует ли вслед за отказом от абсолютного времени отказаться от особой роли инерциальных систем отсчета? Из подобных сомнений и выросла в конечном счете общая теория относительности, представляющая собой (по сравнению со специальной теорией относительности) следующий и притом очень существенный шаг вперед в понимании фундаментальных проблем, связанных с пространством и временем.

Согласно второму закону Ньютона сила = инертная масса  $\times$  ускорение, а согласно закону всемирного тяготения сила = тяжелая масса  $\times$  напряженность поля тяготения.

Таким образом, ускорение =  $\frac{\text{тяжелая масса}}{\text{инертная масса}} \times \text{напряженность поля тяготения}$ .

Наступление состояния невесомости при свободном падении обусловлено весьма важным физическим фактором, а именно равенством инертной и гравитационной (тяжелой) массы тела. Инертная масса характеризует инертные свойства тела, а гравитационная масса — силу, с которой тела притягиваются по закону Ньютона. Как их связать? Например, ускоренное движение лифта в поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего же наблюдателя в лифте имеется покой. Но их соотношение, т.е. поле тяготения, делающее описание в обеих системах координат возможным, основывается на одной очень важной опоре, называемой принципом эквивалентности. **Принцип эквивалентности** заключается в утверждении, что в некоторой системе отсчета тяжелая и инертная масса эквивалентны. Эквивалентность тяжелой и инертной масс озна-

чает, как можно видеть выше, эквивалентность ускорения и поля тяготения. Таков был путь Эйнштейна к принципу эквивалентности — центральному стержню общей теории относительности.

В специальной теории относительности свойства пространства и времени рассматриваются без учета гравитационных полей. Они не являются инерциальными. По общей теории относительности массы, создающие поле тяготения, искривляют пространство и меняют течение времени. Масса изменяет структуру самого пространства — оно как бы искривляет его, делая кратчайшим расстоянием уже не прямую, а кривую линию. Подчеркнем, что здесь тяготение — не причина кривизны пространства, это и есть сама кривизна. Чем сильнее поле, тем медленнее течет и время по сравнению с течением времени вне поля. Тяготение зависит не только от распределения масс в пространстве, но и от их движения, от давления и натяжения, имеющихсЯ в телах, от электромагнитного и всех других физических полей. Изменения гравитационного поля распределяются в вакууме со скоростью света. В теории Эйнштейна материя, расположение и движение тяготеющих масс влияют на свойства пространства и времени. Кривизна пространства-времени меняется в зависимости от распределения тяжелых масс, от величины их гравитационных полей. Любое поле можно рассматривать как пространство, в различных точках которого тела ведут себя по-разному. В зависимости от происходящих в пространстве физических процессов его можно охарактеризовать различными геометрическими свойствами. Это делается при использовании геометрии пространства с различной кривизной.

В течение продолжительного времени казалось совершенно естественным и логичным описывать свойства пространства с помощью геометрии, важнейшие элементы которой сформулировал еще в начале III в. до н.э. древнегреческий математик Евклид. В его геометрии, в частности, сумма углов треугольника равна  $180^\circ$ , а на плоскости через каждую точку, которая не находится на заданной прямой, можно провести только одну параллельную ей прямую.

Однако плоская геометрия Евклида оказалась частным случаем сферической геометрии, когда кривизна пространства равна нулю. Возможны случаи пространств с положительной и отрицательной кривизной. Геометрия пространства с положительной кривизной характерна для

сферической поверхности, кратчайшим расстоянием между двумя точками которой являются дуги больших кругов, передвигаясь по которым мы вернемся к исходной точке. Такой тип геометрии разработан в 1854 г. немецким математиком Бернгардом Риманом. Здесь сумма углов в треугольнике больше  $180^\circ$ . Геометрия пространства с отрицательной кривизной имеет сферические линии с бесконечной протяженностью. Эта геометрия разработана в 1826 г. Н. И. Лобачевским. Сумма углов в сферическом треугольнике Лобачевского меньше  $180^\circ$ . Неэвклидовы геометрии Лобачевского и Римана позволили связать ряд физических закономерностей с геометрическими свойствами тех или иных областей пространства.

При переходе к космическим масштабам геометрия пространства перестает быть евклидовой и изменяется от одной области к другой в зависимости от плотности масс в этих областях и их движения. Вблизи массивных тел пространство характеризуется геометрией Римана. В масштабах Метагалактики геометрия пространства изменяется со временем вследствие расширения Метагалактики. При скоростях, приближающихся к скорости света, при сильном поле пространство приходит в сингулярное состояние, т.е. сжимается в точку. Через это сжатие мегамир приходит во взаимодействие с микромиром и во многом оказывается аналогичным ему. Классическая механика остается справедливой как предельный случай при скоростях, намного меньших скорости света, и массах, намного меньших масс в мегамире.

Одно из следствий общей теории относительности состоит в том, что свет, обладая инертной массой, теряет энергию на преодоление гравитационного притяжения испускающего его тела, и в том, что потеря светом энергии означает увеличение его длины волны. Этот эффект называется **гравитационным красным смещением**. Не следует путать красное смещение, которое вызвано полем тяготения, с космологическим красным смещением, обусловленным расширением Вселенной. Гравитационное красное смещение является прямым следствием замедления течения времени в гравитационных полях. Такое смещение наблюдается в спектральных линиях Солнца и тяжелых звезд, например Сириуса.

Таким образом, атомные часы на поверхности Солнца идут медленнее тех же самых часов на Земле. Как и следовало ожидать, общая теория относительности предсказывает, что все часы в поле силы тяжести должны замедлять свой ход.

Если два совершенно идентичных экземпляра часов на Земле поместить друг от друга на расстоянии 1 м по высоте, то нижние часы будут каждую секунду отставать на  $10^{-16}$  с. Впервые эталоны частоты, обладающие такой точностью, были созданы в 1960 г. на основе явления испускания фотонов радиоактивными ядрами в кристалле. Это явление, позволяющее достичь такой точности измерения частоты, получило название *эффекта Мессбауэра*. С помощью новых эталонов частоты в лабораторных условиях было показано, что сила тяжести действительно замедляет время. Впервые такие эксперименты были выполнены в 1960 г. в Гарвардском университете.

Всего имелись еще три экспериментальных результата, подтверждающие общую теорию относительности и полученные несколько десятилетий назад. Это искривление звездного света около Солнца, красное смещение в спектрах тяжелых звезд (выше нами отмечалось) и движение перигелия планеты Меркурий.

Равенство массы тяготения и инертной массы является одним из важных результатов общей теории относительности, по которой для описания законов природы считаются равноценными все системы отсчетов, а не только инерциальные. Общая теория относительности распространяет законы природы на все, в том числе на неинерциальные системы. Если в инерциальных системах все процессы и описывающие их законы являются одинаковыми по своей форме, то в неинерциальных системах они происходят по-другому. Мы уже знаем, что в инерциальной системе отсчета свет распространяется по прямой линейно и с постоянной скоростью  $c$ . Относительно системы отсчета, имеющей ускоренное движение, световой луч не будет двигаться прямолинейно, ибо в этом случае он будет находиться в поле тяготения. Следовательно, в поле тяготения световые лучи распространяются криволинейно. Этот результат имеет важнейшее значение для проверки и обоснования общей теории относительности. Для полей тяготения, доступных нашему наблюдению, такое искривление световых лучей слишком мало, чтобы проверить экспериментально, но если такой луч будет проходить, например, вблизи Солнца, то его отклонение можно измерить. Впервые такие измерения были сделаны во время полного солнечного затмения в 1919 г., и они полностью подтвердили предсказания общей теории относительности.

Таким образом, *теория относительности показала единство пространства и времени*, выражающееся в совместном

изменении их характеристик в зависимости от концентрации масс и их движения. Время и пространство перестали рассматриваться независимо друг от друга, и возникло представление о пространственно-временном четырехмерном континууме. Теория относительности связала также массу и энергию соотношением  $E = mc^2$ , где  $c$  — скорость света. В теории относительности два закона — закон сохранения массы и сохранения энергии — потеряли свою независимую друг от друга справедливость и оказались объединенными в единый закон, который можно назвать законом сохранения массы или энергии. Явление аннигиляции, при котором частица и античастица взаимно уничтожают друг друга, и другие явления физики микромира подтверждают данный вывод.

Итак, теория относительности основывается на постулатах постоянства скорости света и одинаковости законов природы во всех физических системах, а основные результаты, к которым она приводит таковы: относительность свойств пространства-времени; эквивалентность тяжелой и инертной массы (отмеченное еще Галилеем следствие, что все тела независимо от их состава и массы падают в поле тяготения с одним и тем же ускорением). С философской точки зрения наиболее значительным результатом общей теории относительности является установление зависимости пространственно-временных свойств окружающего мира от расположения и движения тяготеющих масс.

До XX в. были открыты законы функционирования вещества (Ньютон) и поля (Максвелл). В XX в. неоднократно предпринимались попытки создать единую теорию поля, в которой соединились бы вещественные и полевые представления, которые, однако, оказались безуспешными. Общая теория относительности связала тяготение с электромагнетизмом и механикой. Она заменила ньютонов механический закон всемирного тяготения на полевой закон тяготения.

## Выводы

1. Научное понимание пространства до XX в. мало отличалось от обыденного. Евклид построил геометрию трехмерного пространства, которая находится в основе классической науки. Декарт заполнил евклидово пространство материей, находящейся в вечном движении. Ньютон представил пространство однородным, изотропным и абсолютным.

2. Чтобы объяснить особенности распространения света в инерциальных системах отсчета, Эйнштейн предложил

свою теорию относительности. В специальной теории относительности пространство и время объединены в четырехмерный континуум, т.е. событие задается четырьмя числами — тремя координатами и моментом времени. В рамках специальной теории относительности пространство и время имеют относительный характер. При скоростях инерциальной системы близких к скорости света темп времени замедляется, а размеры укорачиваются.

3. *На основе евклидовой геометрии была построена теория тяготения Ньютона, а неевклидовой — общая теория относительности.* Общая теория относительности утверждает, что свойства пространства определяются параметрами тел, заполняющих его. Отклонение пространства от евклидовости сказывается вблизи тяготеющих масс.

4. В *специальной теории относительности* показана взаимосвязь пространства и времени, т.е. утверждается, что нет времени вне пространства. В общей теории относительности показана взаимосвязь пространства-времени с материей. В сильных полях тяготения не только происходит искривление пространства, но и замедляется ход времени.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Самое могущественное — это время.  
Оно поглощает все, попадающее в него.

*Г. Гегель*

### План семинара

1. Пространство и время — формы существования материи.
2. Принципы относительности в классической механике.
3. Понятие пространства и времени в специальной теории относительности.
4. Основные положения общей теории относительности.

### Методические советы и упражнения

#### Основные понятия

**Время** — всеобщая объективная форма существования движущейся материи, являющаяся необходимым условием возникновения и изменения конкретных материальных систем и выражающая структурность, темп и длительность

материальных процессов и объективную последовательность событий.

**Инерциальная система** — любая система отсчета, движущаяся прямолинейно и равномерно относительно первоначальной или покоящаяся и в которой выполняются законы классической механики.

**Пространство** — всеобщая объективная форма существования материи, являющаяся необходимым условием возникновения и движения конкретных материальных систем, выражает взаимное расположение материальных систем, их протяженность, форму и структуру.

**Принцип относительности** выражает характер протекания событий, процессов природы в различных системах отсчета.

**Преобразование Галилея** — соотношение пространственных координат и времени в инерциальных системах отсчета согласно принципу относительности Галилея.

**Преобразование Лоренца** — соотношение пространственных координат и времени в инерциальных системах отсчета согласно принципу относительности Эйнштейна.

**Система отсчета** — способ, посредством которого каждому событию ставится в соответствие набор четырех чисел, из которых три — пространственные координаты и одно временное.

**Специальная теория относительности (СТО)** выражает характер протекания событий, процессов природы в инерциальных системах отсчета, движущихся со скоростями близкими к скорости света.

**Общая теория относительности (ОТО)** выражает характер протекания событий, процессов природы в неинерциальных системах отсчета.

**Принцип эквивалентности** — утверждение о том, что в некоторой системе отсчета тяжелая и инертная масса эквивалентны.

### Задачи и упражнения

1. Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, 2 м. Какова длина этой же линейки, движущейся относительно его со скоростью, равной 0,5 скорости света? Скорость света принять равной  $3 \cdot 10^8$  м/с.

*Решение.*  $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = 1,74 \text{ м.}$



2. Во сколько раз замедляется ход времени (по часам неподвижного наблюдателя) при скорости движения 27 000 км/с? Скорость света принять равной  $3 \cdot 10^8$  м/с.

*Решение.*  $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; t_0 = 0,99t.$

3. Определить скорость движения протона в ускорителе, если масса протона возросла в 10 раз. Скорость света принять равной  $3 \cdot 10^8$  м/с.

*Решение.*  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; 1 - \frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{m_0}{m}\right)^2;$

$$v = \frac{c\sqrt{99}}{10} = 2,9 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

4. Имеется два близнеца  $A$  и  $B$  в возрасте 20 лет. Один из них ( $B$ ) отправляется в космическое путешествие к звезде Арктур на корабле, летящем со скоростью 0,99 скорости света. Для жителей Земли расстояние до звезды Арктур составляет 40 световых лет. Сколько лет будет близнецам  $A$  и  $B$ , когда  $B$ , закончив свое путешествие, вернется обратно на Землю?

*Решение.* С точки зрения близнеца  $A$ , путешествие, чтобы долететь до звезды и обратно, займет 80 лет, т.е. когда  $B$  вернется, возраст  $A$  будет  $20 + 80 = 100$  лет.

С точки зрения близнеца, часы на космическом корабле будут идти медленнее в  $1/\sqrt{1 - (0,99)^2} = 1/\sqrt{0,02} = 1/0,141$  раза. Это значит, что за время путешествия на корабле пройдет 80 лет, умноженные на 0,141, или 11,4 года. Итак, к концу путешествия близнец  $B$  будет в возрасте  $20 + 11,4 = 31,4$  года. Следовательно, он окажется моложе своего брата, оставшегося на Земле, на 68,6 года. Космический путешественник не чувствует, что его время идет медленнее. В приведенном примере расстояние до звезды Арктур кажется близнецу  $B$  укороченным из-за лоренцевого сокращения. По его измерениям расстояние от Земли до звезды Арктур составляет  $\sqrt{1 - (0,99)^2} \cdot 40$  световых лет, или 5,64 световых года, а чтобы долететь до Арктура и вернуться обратно — 11,4 года. Этот результат согласуется с вычислениями близнеца  $A$ , оставшегося на Земле.

**Тестовые задания**

1. Какое из понятий характеризует свойство времени?
  - а) свойства материальных систем иметь определенную структуру;
  - б) взаимное расположение материальных систем;
  - в) длительность существования систем и развитие их фаз;
  - г) способность занимать определенный объем.
2. Какое из определений не выражает понятия «пространство»?
  - а) взаимное расположение материальных систем;
  - б) способность их занимать определенный объем;
  - в) свойство материальных систем иметь определенную форму, структуру;
  - г) порядок следования предметов, систем и развитие их отдельных фаз, сторон, ступеней.
3. В специальной теории относительности:
  - а) время одномерное, пространство трехмерное;
  - б) пространство одномерное, время трехмерное;
  - в) пространство и время образуют единый четырехмерный континуум;
  - г) раздельно пространство имеет три измерения, а время — одно;
  - д) ни одно из них;
  - е) все они.
4. Понятие «событие» характеризует:
  - а) пространство;
  - б) время;
  - в) оба они в совокупности;
  - г) ни одно из них.
5. Какая система отсчета является инерциальной?
  - а) движущаяся по инерции;
  - б) движущаяся равномерно;
  - в) движущаяся ускоренно;
  - г) покоящаяся;
  - д) покоящаяся и движущаяся равномерно;
  - е) ни одна из них.
6. Какое свойство характерно и для пространства и для времени?
  - а) однородность;

- б) изотропность;
  - в) ни одно из них;
  - г) оба эти свойства.
7. В какой теории сказано, что свойства пространства определяются массой материальных объектов и тел?
- а) в принципе относительности Галилея;
  - б) принципе относительности Эйнштейна;
  - в) специальной теории относительности;
  - г) принципе эквивалентности;
  - д) общей теории относительности.
8. Какими преобразованиями осуществляют переход от одной инерциальной системы отсчета к другой в современной теории относительности?
- а) преобразованиями Галилея;
  - б) преобразованиями Лоренца;
  - в) преобразованиями Эйнштейна;
  - г) преобразованиями Ньютона;
  - д) ни одним из них.
9. В инерциальных системах отсчета, движущихся с большими скоростями, длина предмета:
- а) увеличивается;
  - б) уменьшается;
  - в) не изменяется;
  - г) бесконечна;
  - д) равна нулю.
10. В инерциальных системах отсчета, движущихся с большими скоростями, темп времени:
- а) ускоряется;
  - б) замедляется;
  - в) не изменяется;
  - г) останавливается.
11. Какое из положений не относится к современной теории относительности?
- а) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета;
  - б) все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета;
  - в) пространство и время имеют абсолютный характер во всех инерциальных системах отсчета;
  - г) все они выражают теорию относительности;
  - д) пространство и время имеют относительный характер.

12. Абсолютность пространства и времени отвергается:
- а) принципом относительности Галилея;
  - б) специальной теорией относительности;
  - в) общей теорией относительности;
  - г) ни одной из них;
  - д) всеми этими принципами.
13. С увеличением скорости движения частиц масса согласно теории относительности:
- а) увеличивается;
  - б) уменьшается;
  - в) не изменяется;
  - г) становится равной нулю.
14. Что из перечисленного не входит в систему отсчета?
- а) тело отсчета;
  - б) точка отсчета;
  - в) система координат;
  - г) прибор для измерения времени;
  - д) скорость системы отсчета.
15. Связь между массой и энергией согласно теории относительности имеет вид:

а)  $E = \frac{mv^2}{2};$

б)  $E = mgh;$

в)  $E = m_0 c^2;$

г)  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}};$

д)  $E = mc^2.$

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Что понимается под пространством и временем?
2. Приведите формулировку принципа относительности для законов механики.
3. Что нового вносит специальная теория относительности в прежний принцип относительности классической механики?
4. Чем вызвана необходимость целостного описания пространства-времени?

5. Почему специальная теория относительности постулирует постоянство скорости света?

6. Как изменяется характер времени в движущейся и покоящейся специальных системах отсчета? Объясните, исходя из этого, парадокс близнецов.

7. Чем отличается поле тяготения от других физических полей?

8. В чем заключается единство и различие специальной и общей теории относительности?

9. Как была проверена правильность положений общей теории относительности?

10. Почему луч света искривляется вблизи тяготеющих масс?

11. Объясните, что представляет собой кривизна пространства.

12. К каким новым философским выводам приводит теория относительности?

13. Какова роль принципов относительности в объективных описаниях природы?

### Тематика рефератов

1. Проблемы соотношения вещества и поля, материи и энергии.

2. Современные представления о пространстве и времени.

3. Специальная теория относительности.

4. Общая теория относительности.

5. Пространство, время и материя в контексте культуры: от мифов античности через теорию относительности к стандартной модели элементарных частиц.

6. Главные выводы специальной и общей теории относительности.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009 — 540 с.

2. *Философские вопросы естествознания.* — М., 1974. — 284 с.

3. *Эйнштейн, А.* Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. — М., 1965. — 342 с.

4. *Рузавин, Г. И.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 288 с.

5. *Горелов, А.А.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 342 с.

6. *Гейзенберг, В.* Физика и философия. — М., 1963. — С. 175–176.

## Глава 5

# СТРОЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА

### 5.1. Структурное распределение вещества в мире

Границ научного познания  
и предсказанию предвидеть невозможно.

*Д. И. Менделеев*

В окружающем нас пространстве материя существует в форме вещества и поля. Вещество в природе находится в виде различных структур, которые определяют строение и свойства окружающего материального мира (табл. 5.1). Слово «строение» в данном случае отражает лестницу разнородных по составу, структуре и сложности объектов.

*Таблица 5.1*

**Структурные уровни материи**

Неорганическая природа	Живая природа	Общество
1. Субмикрорэлементарный	Биологический макромолекулярный	Индивид
2. Микрорэлементарный	Клеточный	Семья
3. Ядерный	Микроорганический	Коллективы
4. Атомарный	Органы и ткани	Большие социальные группы (классы, нации)
5. Молекулярный	Организм в целом	Государство (гражданское общество)
6. Макроуровень	Популяция	Системы государства
7. Мегауровень (планеты, звездопланетные системы, галактики)	Биоценоз	Человечество в целом
8. Метауровень	Биосфера	Ноосфера

Окружающий мир современная наука разделяет на три области: микромир, макромир и мегамир (рис. 5.1). Это стало возможным в результате многовекового изучения природы человеком. В этих областях имеется следующая *иерархия*

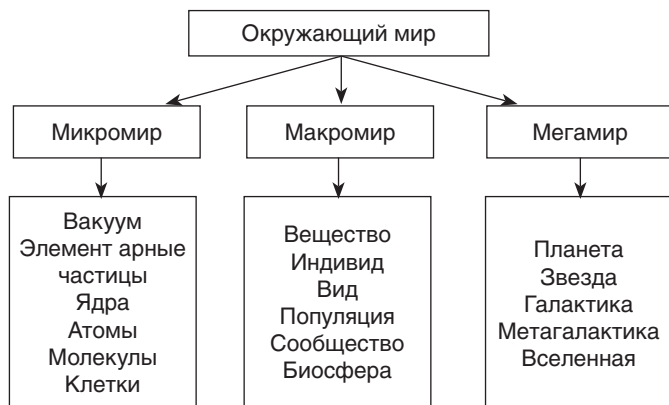


Рис. 5.1. Структурное строение мира

*объектов: микромир* — это вакуум — элементарные частицы — ядра — атомы — молекулы — клетки; *макромир* — это макротела (твердые тела, жидкости, газы, плазма) — индивид — вид — популяция — сообщество — биосфера; *мегамир* — это планеты — звезды — галактики — Метагалактика — Вселенная.

## 5.2. Краткая характеристика микромира

На случаи наталкиваются именно те ученые, которые делают все, чтобы на них натолкнуться.

*К. Тимирязев*

**Вакуум.** По представлениям современной науки вакуум — это отнюдь не пустота или «отсутствие всякого присутствия». *Вакуум* представляет собой физический объект, в котором непрерывно происходит рождение и уничтожение виртуальных частиц (материализованные порции энергии). Вакуум является динамической системой, обладающей какой-то энергией, которая все время перераспределяется между виртуальными (воображаемыми) частицами. Однако воспользоваться энергией вакуума мы не можем, так как это есть наинизшее энергетическое состояние полей. При наличии внешнего источника энергии можно реализовать возбужденные состояния полей — тогда будут наблюдаться обычные (не виртуальные)



частицы. Вакуум способен порождать не только частицы, но и миры. Самопроизвольные флуктуации вакуума рожают вселенные с разным набором фундаментальных постоянных. В одной из таких областей, видимо, случайно получился набор, годный для появления разумных существ. В ней мы и живем. О других вселенных мы пока ничего не знаем и можем лишь догадываться об их существовании.

**Элементарные частицы.** По современным представлениям все элементарные частицы являются наименьшими «кирпичиками», из которых создан окружающий мир. Однако это не означает, что их свойства просты. Для описания поведения элементарных частиц используют наиболее сложные физические теории, представляющие синтез теории относительности и квантовой теории.

Все известные элементарные частицы подразделяются на две группы: адроны и лептоны. Предполагается, что адроны состоят из истинно элементарных частиц-кварков. И причем допускается существование шести типов кварков.

Стабильными, т.е. живущими в свободном состоянии неограниченно долго, частицами являются протон, электрон, фотон и, по-видимому, нейтрино всех типов. Время жизни протона составляет  $10^{31}$  лет. Самыми короткоживущими образованиями являются резонансы — их время жизни порядка  $10^{-23}$  с. В самой природе короткоживущие элементарные образования могут играть роль при самых экстремальных условиях существования вещества и поля, например: в «начальных» стадиях эволюции Вселенной, при образовании таких астрофизических объектов, как «черные дыры», в формировании сердцевин нейтронных звезд.

Объединение релятивистских и квантовых представлений, осуществленное в значительной степени еще в 1930-е гг., привело к одному из наиболее выдающихся предсказаний в физике — открытию мира античастиц. Частица и соответствующая ей античастица имеют одинаковое время жизни, одинаковые массы, их электрические заряды равны, но противоположны по знаку. Самым характерным свойством пары «частица-античастица» является способность при встрече аннигилировать (самоуничтожаться) с превращением в частицы другого рода. Античастицы могут собираться в антивещество. Несмотря на микроскопическую симметрию между частицами и античастицами, во Вселенной не обнаружены области со скольким-нибудь заметным содержанием антивещества. Частицы и их

античастицы одинаково взаимодействуют с полем тяготения, что указывает на отсутствие «антигравитации».

**Ядра.** *Атомные ядра* — это связанные системы протонов и нейтронов. Массы ядер всегда несколько меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов, составляющих ядро. Это релятивистский эффект, определяющий энергию связи ядра. Известны ядра с зарядом, равным от одного заряда протона до 109 зарядов протона и с числом протонов и нейтронов (т.е. нуклонов) от 1 до примерно 260. Особенно устойчивыми ядрами, т.е. обладающими наибольшей энергией связи, являются ядра с числами протонов и нейтронов 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, называемыми магическими. Плотность числа частиц в многонуклонных ядрах порядка  $10^{44}$  нуклонов/м<sup>3</sup>, а плотность массы  $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. «Радиусы ядер» изменяются от  $2 \cdot 10^{-15}$  м (ядро гелия) до  $7 \cdot 10^{-15}$  м (ядро урана). Ядра имеют «форму» вытянутого или сплюснутого эллипсоида (или еще более сложную).

Ядро как квантовая система может находиться в различных дискретных возбужденных состояниях. В основном состоянии ядра могут быть стабильными (устойчивыми) и нестабильными (радиоактивными). Время, за которое из любого макроскопического количества нестабильных ядер распадается половина, называют периодом полураспада. Периоды полураспадов известных нам элементов изменяются в пределах примерно от  $10^{18}$  лет до  $10^{-10}$  с.

**Атомы.** Они состоят из ядра и электронных орбит (рис. 5.2). Ядра имеют положительный электрический заряд и окружены роем отрицательно заряженных электронов. В целом атом является электронейтральным. Атом есть наименьшая структурная единица химических элементов. В отличие от «плотной упаковки» ядерных частиц атомные электроны образуют весьма рыхлые и ажурные оболочки. Существуют жесткие правила «заселенности» электронами «орбит» вокруг ядра. Электроны, находящиеся на самых верхних этажах «атомного дома», определяют реакционную способность атомов, т.е. их способность вступать в соединение с другими атомами. Здесь происходит переход в область химии, и условность границ раздела между физикой и химией в данном случае очевидна. У большинства элементов атомы химически нестабильны. Атом стабилен, если его внешняя оболочка заполнена определенным числом электронов (2, 8 и др.). Атомы с незаполненными внешними оболочками вступают в химические реакции, образуя связи с другими атомами.

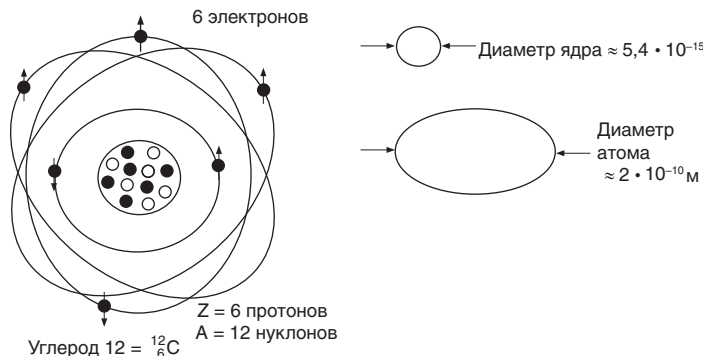


Рис. 5.2. Модель атома углерода

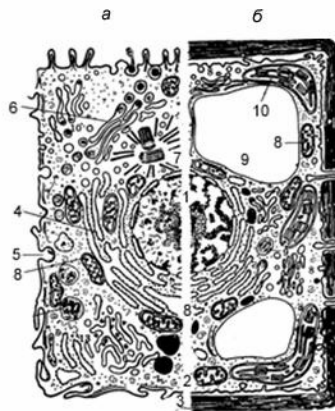
**Молекулы.** Не всякие атомы способны соединяться друг с другом. Связь возможна в том случае, если совместная «орбита» целиком заполнена электронами. Такое образование называют молекулой. *Молекула* есть наименьшая структурная единица сложного химического соединения. Число возможных комбинаций атомов, определяющих число химических соединений, составляет около миллиона. Качественно молекула — это определенное вещество, состоящее из одного или нескольких химических элементов, атомы которых за счет обменного химического взаимодействия объединены в частицы. Поскольку электроны в молекулах обобществлены, атомы теряют свою индивидуальность. При затрате определенной энергии устойчивая молекула может быть разложена на атомы.

Некоторые атомы (например, углерода и водорода) способны образовывать сложные молекулярные цепи, являющиеся основой для образования еще более сложных структур (макромолекул), которые проявляют уже биологические свойства, т.е. свойства живого.

**Клетка.** За 3 млрд лет существования на нашей планете живое вещество развилось в несколько миллионов видов, но все они — от бактерий до высших животных — состоят из клеток. *Клетка* — это организованная часть живой материи (рис. 5.3): она усваивает пищу, способна существовать и расти, может разделиться на две, каждая из которых содержит генетический материал, идентичный исходной клетке. Клетки служат элементарными структурами на онтогенети-

ческом уровне организации жизни. Клетка состоит из ядра и цитоплазмы.

От окружающей среды клетка отделена плазматической мембраной, которая регулирует обмен между внутренней и внешней средой и служит границей клетки. В каждой клетке содержится генетический материал в форме ДНК, регулирующий жизнедеятельность и самовоспроизведение. Размеры клеток измеряются в микронах (мкм) — миллионных долях метра и нанометрах (нм) — миллиардных долях. Например, соматическая животная клетка средних размеров имеет 10–20 мкм в диаметре, растительная — 30–50 мкм; длина хлоропласта цветкового растения — 5–10 мкм, бактерии — 2 мкм. Клетки существуют как самостоятельные организмы (простейшие бактерии) или входят в состав многоклеточных организмов. Половые клетки служат для размножения, соматические (*греч.* «зота» — «тело») клетки отличаются по строению и функциям (нервные, мышечные, костные). Клетки отличаются своими размерами, формой. В клетках имеются органеллы, выполняющие свой набор функций.



**Рис. 5.3. Комбинированная схема строения эукариотической клетки:**

- а) клетка животного происхождения; б) растительная клетка  
 1 — ядро с ядрышком; 2 — плазматическая мембрана; 3 — клеточная стенка; 4 — гранулярный эндоплазматический ретикулум; 5 — пиноцитозная вакуоль; 6 — аппарат Гольджи; 7 — центриоль и 8 — митохондрии; 9 — центральная вакуоль; 10 — хлоропласт.

### 5.3. Краткая характеристика макромира

Очевидное — это то, чего никогда не видишь, пока кто-нибудь не сформулирует это достаточно просто.

*Калил Гибран*

**Макротела (вещество).** При определенных условиях однотипные атомы и молекулы могут собираться в огромные совокупности — макроскопические тела (вещество). **Вещество** — вид материи; то из чего состоит весь окружающий мир. Вещества состоят из мельчайших частиц — атомов, молекул, ионов, элементарных частиц, имеющих массу и находящихся в постоянном движении и взаимодействии. Существует огромное множество веществ, различных по составу и свойствам. Каждый день ученые-химики осуществляют синтез новых соединений, и к настоящему времени зарегистрировано более 10 млн различных веществ, среди которых большую долю составляют вещества, полученные искусственно. Вещества делятся на простые, сложные, чистые, неорганические и органические. Свойства веществ можно объяснить и предсказать на основе их состава и строения.

Вещество *простое* — состоит из частиц (атомов или молекул), образованных атомами одного химического элемента. Например,  $O_2$  — кислород,  $O_3$  — озон, S — сера, Ne — неон — простые вещества.

Вещество *сложное* — состоит из частиц, образованных атомами различных химических элементов. Например,  $H_2SO_4$  — серная кислота; FeS — сульфид железа;  $CH_4$  — метан — сложные вещества.

Вещество *чистое* — вещество, состоящее из одинаковых частиц (молекул, атомов, ионов), обладающее определенными специфическими свойствами.

Вещество *примесное*. Для очистки веществ от примесей используют различные методы: перекристаллизацию, дистилляцию, фильтрование.

Вещества *неорганические* — это химические соединения, образуемые всеми химическими элементами (кроме соединений углерода, относящихся к органическим веществам). Неорганические вещества образуются на Земле и в космосе под воздействием природных физико-химических факторов. Они образуют практически всю литосферу, гидросферу и атмосферу Земли. В их состав могут входить атомы всех химических

элементов, известных в настоящее время, в различных сочетаниях и количественных соотношениях. Кроме того, огромное количество неорганических веществ получают в научных лабораториях и на химических предприятиях искусственно. Все неорганические вещества делятся на группы со сходными свойствами (классы неорганических соединений). Ныне известны более ста химических элементов. Из них образовались более 10 млн химических соединений или веществ. Из всех веществ 96% составляют органические соединения, образованные из 6—18 элементов. Остальные 95—99 химических элементов образовали 300 тыс. неорганических соединений.

Основу живых веществ составляют только шесть элементов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, общая весовая доля которых в организмах составляет 97,4%. Остальные 12 элементов являются физиологически важными компонентами биосистем: натрий, калий, кальций, магний, железо, алюминий, кремний, хлор, медь, цинк, кобальт, весовая доля которых составляет 1,6%.

Вещества *органические* — это соединения углерода с некоторыми другими элементами: водородом, кислородом, азотом, серой. Из соединений углерода к органическим не относятся оксиды углерода, угольная кислота и ее соли, являющиеся неорганическими соединениями. Название «органические» эти соединения получили в связи с тем, что первые представители этой группы веществ были выделены из тканей организмов. Долгое время считалось, что подобные соединения нельзя синтезировать в пробирке, вне живого организма. Однако в первой половине XIX в. ученым удалось искусственно получить вещества, которые ранее извлекли только из тканей животных и растений или продуктов их жизнедеятельности: мочевину, жир и сахаристое вещество. Это послужило доказательством возможности искусственного получения органических веществ и началом новых наук — органической химии и биохимии. Органические вещества обладают рядом свойств, отличающих их от неорганических веществ: они неустойчивы к действию высоких температур; реакции с их участием протекают медленно и требуют особых условий. К органическим соединениям относятся нуклеиновые кислоты, белки, углеводы, липиды, гормоны, витамины и многие другие вещества, играющие основную роль в построении и жизнедеятельности растительных и животных организмов. Пища, топливо, многие лекарства, одежда — все это состоит из органических веществ. В настоящее время известно более 10 млн органических соединений, имеющих природное происхождение, а кроме того,

буквально ежедневно в мире производится искусственный синтез органических веществ, для многих из которых пока не найдена область практического применения.

**Индивид.** Жизнь всегда представлена в виде дискретных индивидуумов. Это в равной мере присуще микроорганизмам, растениям, грибам и животным, хотя в указанных царствах индивиды имеют различное морфологическое содержание. Так, одноклеточные состоят из ядра, цитоплазмы, множества органелл и мембран, макромолекул и т.д. Сложность индивидуума у многоклеточных во много раз выше, поскольку он образован из миллионов и миллиардов клеток. Но одноклеточная и многоклеточная особи обладают системной организацией и регуляцией и выступают как единое целое. Индивид (индивидуум, особь) — элементарная неделимая единица жизни на Земле. Разделить индивид на части без потери «индивидуальности» невозможно. Конечно, в ряде случаев вопрос об определении границ индивида, особи не столь прост и самоочевиден. С эволюционной точки зрения индивидуумом следует считать все морфофизиологические единицы, происходящие от одной зиготы, гаметы, споры, почки и индивидуально подлежащие действию элементарных факторов. На онтогенетическом уровне единицей жизни служит индивид с момента ее возникновения до смерти. Через оценку индивидуума в процессе естественного отбора происходит проверка жизнеспособности данного генотипа. Индивиды в природе не абсолютно изолированы друг от друга, а объединены более высоким рангом биологической организации на популяционно-видовом уровне.

**Вид.** Сущность биологической концепции вида заключается в признании того, что виды реальны, состоят из популяций, а все особи вида имеют общую генетическую программу, которая возникла в ходе предшествующей эволюции. Виды определяются не столько различиями, сколько обособленностью. Из биологической концепции вида вытекают *критерии, позволяющие отличать один вид от другого*: 1) морфологический критерий вида есть характеристика особенностей строения, совокупность его признаков; 2) генетический критерий утверждает, что каждый вид имеет свойственный ему набор хромосом, характеризующийся определенным числом хромосом, их структурой и дифференциальной окраской; 3) *эколого-географический* критерий вида включает как ареал обитания, так и непосредственную среду обитания вида — его экологическую нишу; 4) к важнейшей характеристике вида, размножающегося половым путем, относится репродуктив-

ная изоляция. Вид является результатом эволюции всей генетической системы данного вида и охраняет его от проникновения генетической информации извне. Итак, каждый критерий в отдельности недостаточен для определения вида, только в совокупности они позволяют точно выяснить видовую принадлежность живого организма. Наиболее существенной характеристикой вида является то, что он представляет собой генетически единую систему.

Таким образом, *вид* — совокупность географически и экологически близких популяций, способных в природных условиях скрещиваться между собой, имеющих единый генетический фонд, обладающих общими морфофизиологическими признаками и биологически изолированных от популяций других видов.

**Популяция.** Совокупность особей одного вида, длительно населяющих определенное пространство, размножающихся путем свободного скрещивания и в той или иной степени изолированных друг от друга, называют популяцией. В генетическом смысле популяция — это пространственно-временная группа скрещивающихся между собой особей одного вида. Популяция является элементарной биологической структурой, способной к эволюционным изменениям. Популяции оказываются элементарными единицами, а виды — качественными этапами процесса эволюции. Совокупность генотипов всех особей популяции образует *генофонд*. Популяции и виды, несмотря на то, что состоят из множества особей, целостны. Целостность популяций и видов связана с взаимодействием особей в популяциях и поддерживается обменом генетического материала в процессе полового размножения. Популяции и виды всегда существуют в определенной среде, включающей как биотические, так и абиотические компоненты. Конкретная среда протекания процесса эволюции, идущего в отдельных популяциях, — сообщество, биоценоз.

**Сообщество.** Популяции разных видов всегда образуют в биосфере Земли сложные сообщества — биоценозы. *Биоценоз* — совокупность растений, животных, грибов и прокариот, населяющих участок суши или водоема и находящихся в определенных отношениях между собой. Вместе с конкретными участками земной поверхности, занимаемыми биоценозами, и принадлежащей им атмосферой сообщество составляет экосистему. *Экосистема* — взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом веществ и энергией. *Биогеоценоз* — это такая



экосистема, внутри которой не проходит биогенетических, микроклиматических, почвенных и гидрологических границ. Биогеоценоз — одна из наиболее сложных природных систем. Внешне заметные границы биогеоценозов чаще всего совпадают с границами растительных сообществ. Все группы экосистемы — продукт совместного исторического развития видов, различающихся по систематическому положению. Первичной основой для сложения биогеоценозов служат растения и прокариоты — продуценты органического вещества (автотрофы). В ходе эволюции до заселения растениями и микроорганизмами определенного пространства биосферы не могло быть и речи о заселении его животными. Растения и прокариоты представляют жизненную среду для животных — гетеротрофов. Биогеоценозы — среда для эволюции входящих в них популяций. Популяции разных видов в биогеоценозах взаимодействуют друг с другом по принципу прямой и обратной связи. В целом жизнь биогеоценоза регулируется в основном силами, действующими внутри самой системы, т.е. можно говорить о саморегуляции биогеоценоза. Автономность и саморегуляция биогеоценоза определяют его ключевое положение в биосфере нашей планеты как элементарной единицы на биогеоценозическом уровне.

**Биосфера.** Взаимосвязь разных сообществ, обмен между ними веществом и энергией позволяет рассматривать все живые организмы Земли и среду их обитания как одну очень протяженную и разнообразную экосистему — биосферу. Биосфера — те части земных оболочек (лито-, гидро- и атмосферы), которые на протяжении геологической истории подвергались влиянию живых организмов и несут следы их жизнедеятельности. Биогеоценозы, образующие в совокупности биосферу нашей планеты, взаимосвязаны круговоротом веществ и энергии. В этом круговороте жизнь на Земле выступает как ведущий компонент биосферы. Биогеоценоз представляет собой незамкнутую систему, имеющую энергетические «входы» и «выходы», связывающие соседние биогеоценозы. Обмен веществ между соседними биогеоценозами может осуществляться в газообразной, жидкой и твердой фазах, а также в форме живого вещества (миграции животных). Кроме живого вещества в составе биосферы есть косное (неживое) вещество, а также сложные по своей природе биокосные тела. В их состав входят как живые организмы, так и видоизмененное неживое вещество. К биокосным телам относятся почвы, илы, природные воды.

## 5.4. Краткая характеристика мегамира

В необъятной Вселенной безмерно долгое время будут возникать для нас, одни за другим, новые нерешенные вопросы; таким образом, перед человеком лежит уходящий в бесконечность путь научного труда...

*Академик Ф. А. Бредихин*

**Планеты.** Начальной ступенью в иерархии объектов мегамира являются планеты (в переводе с греческого — «блуждающие»). Планеты — небесные тела, обращающиеся обычно вокруг звезд, отражающие их свет и не имеющие собственного видимого излучения. По размерам и массам они значительно меньше звезд. Земля меньше Солнца по размеру в 109 раз, а по массе в 333 000 раз. Многие планеты имеют спутники, обращающиеся вокруг них. Одной из планет является Земля. Спутником Земли — Луна. Земля входит в состав планет Солнечной системы. В Солнечной системе 9 больших планет: Меркурий, Венера, Земля с Луной, Марс с Фобосом и Деймосом, Юпитер с 16 спутниками, Сатурн с 17 спутниками, Уран с 16 спутниками, Нептун с 10 спутниками, Плутон с Хароном. Между орбитами Марса и Юпитера находятся более 5000 малых планет. Солнечной системе принадлежат также кометы и метеорные тела. В настоящее время неизвестно, имеются ли в Солнечной системе планеты, еще более удаленные от Солнца, чем Плутон. Можно только утверждать, что если такие планеты и есть, то они сравнительно невелики.

Астрофизики полагают, что 10% всех звезд имеют планетные системы. У 10 ближайших к нам звезд они достоверно обнаружены. Например, одна из близких к Земле звезд «летающая» Барнарда имеет три планеты с массами примерно равными массе Юпитера. Полагается, если скорость вращения звезд мала (несколько км/с), что обычно бывает у звезд (несколько десятков км/с), то они имеют планетную систему.

**Звезды.** Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются звезды. Изученная нами часть окружающего пространства заполнена огромным количеством звезд — самых больших небесных тел, подобных Солнцу, вещество которых находится в состоянии плазмы. Они имеют собственные видимые излучения и характеризуются различными размерами, массами, свети-

мостью и временем жизни. Есть звезды по размерам больше Солнца в 1000 раз, а есть составляющие 0,003 доли размера Солнца. По массе есть звезды массивнее Солнца до 80 раз, а есть составляющие до 0,05 доли массы Солнца. На поверхности Солнца температура составляет 6000 К. Некоторые звезды имеют на поверхности температуру 50 000 К, а другие — всего 3000 К. Возраст звезд составляет от 10 млн до 100 млрд лет. Центральные области звезд и Солнца характеризуются температурой более  $10^7$  К и давлением примерно  $10^{11}$  атм. (атмосфер). При этом становятся возможными термоядерные реакции, результатом которых является слияние ядер водорода и превращение их в ядра гелия. Эта ядерная реакция служит источником энергии звезд.

Звезды удалены друг от друга на огромные расстояния и тем самым практически изолированы. В окрестностях Солнца среднее расстояние между звездами примерно в 10 млн раз больше, чем средний диаметр звезд. Даже самая близкая к нам звезда — Проксима Центавра удалена от нас на такое огромное расстояние, что по сравнению с ним межпланетные расстояния в пределах Солнечной системы кажутся мизерными.

**Галактики.** Звезды рассеяны в пространстве неравномерно, они образуют связанные силами тяготения системы, называемые галактиками. Число звезд в галактиках порядка  $10^{11}$ — $10^{12}$ . Галактики имеют в большинстве своем эллипсоидальную, спиральную и неправильную форму. Расстояние от одного края галактики до другого десятки и сотни тысяч лет, т.е.  $10^4$ — $10^5$  световых лет. Расстояние между отдельными галактиками еще больше — они в десятки раз превосходят размеры самих галактик. Число звезд в каждой галактике огромно — от сотен миллионов до сотен миллиардов. С Земли галактики видны как слабые туманные пятна, и поэтому их раньше называли внегалактическими туманностями. Только в близких к нам галактиках и только на фотографиях, полученных самыми большими телескопами, можно рассмотреть отдельные звезды в них. Внутри галактик звезды распределены также неравномерно, располагаясь ближе к их центрам и образуя различные скопления. Пространство между звездами в галактиках и пространство между галактиками заполнено материей в виде газа, пыли, элементарных частиц, электромагнитного излучения и гравитационных полей. Плотность вещества межзвездной и межгалактической среды очень низка. Солн-

це, большинство звезд и звездных скоплений, наблюдаемых на небе, образуют систему, которая называется нашей Галактикой. Огромное количество входящих в нее слабых звезд представляется невооруженному глазу белесой полосой, проходящей через все небо и называемой Млечным путем. Систематические исследования распределения галактик в пространстве стали проводить лишь в первой половине XX в. Эти исследования показали, что галактики распределены по небу примерно равномерно. Выяснилось при этом, что галактики, подобно звездам, образуют группы и скопления. Так, наша Галактика, Туманность Андромеды, галактика Треугольника, Большое и Малое Магеллановы Облака и еще несколько звездных систем меньших размеров образуют Местную группу из 35 галактик, расстояния до которых достигают сотни тысяч парсек. Галактики Местной группы связаны общим тяготением и движутся вокруг общего центра масс. В среднем диаметры скоплений галактик близки к 8 Мпк. Наблюдение картины распределения галактик по небу показывает, что оно (распределение) имеет сетчатую структуру. Галактики имеют тенденцию располагаться по границам гигантских ячеек, внутри которых они практически отсутствуют.

**Метагалактика и Вселенная.** По-видимому, ячеистая структура распределения галактик является наиболее крупной структурой Метагалактики — видимой части Вселенной. Самые далекие объекты Метагалактики, которые наблюдаются в настоящее время, — это квазары. От наиболее удаленных квазаров свет доходит до нас более чем за 10 млрд лет.

Под *Вселенной* понимают весь окружающий нас известный нам и неизвестный мир, т.е. это все сущее. Известная часть Вселенной, называемая Метагалактикой, — это объем, заполненный звездами, галактиками и имеющий диаметр  $\sim 10^{28}$  см. Радиус Метагалактики оценивается примерно в 5 млрд световых лет, причем эта цифра может еще быть увеличена. Возможно, что Метагалактика имеет форму диска и вращается вокруг своей оси за период  $10^{11} - 10^{12}$  лет. Но все эти цифры носят условный характер, так как имеется слишком мало данных наблюдений. Ясно также, что Метагалактикой не исчерпывается вся Вселенная и за пределами этой системы существует бесчисленное множество других систем различной структурной организации. Число открываемых внегалактических туманностей растет с каждым годом. Современным средствам астрономических исследований до-

ступна колоссальная область пространства диаметром около 10 млрд световых лет.

Чтобы определить расстояния до таких галактик, можно привести такой пример. Луч света начал свое движение с этих миров, когда на Земле происходили первичные тектонические процессы, но еще не было жизни. Когда свету осталось пройти до Земли одну двухтысячную часть своего пути, на Земле появились первые человекообразные существа. За это время на Земле сменилось 40 000 поколений людей, пока, наконец, не были созданы телескопы и фотопластинки, способные воспринять послание от этих необычайно удаленных миров. Но те расстояния, которые свет может пройти лишь за миллиарды лет, научная теория охватывает за неизмеримо более короткие отрезки времени.

По некоторым данным, наша Галактика находится от центра Метагалактики на расстоянии в несколько десятков миллионов световых лет и движется вокруг центра со скоростью около 1000 км/с. Границу Метагалактики называют горизонтом познания Вселенной.

Во Вселенной все находится в движении. Двигутся планеты и их спутники, кометы и метеорные тела; движутся Солнце и звезды в галактиках, движутся галактики друг относительно друга. Как нет пространства без материи, так нет и материи без движения.

## Выводы

1. Современная наука окружающий нас мир структурно разделяет на микро-, макро- и мегамиры. По мере возрастания размеров микромир имеет следующую структуру: вакуум — элементарные частицы — ядра — атомы — молекулы — клетки. Макромир имеет следующую структуру: вещество — индивид — вид — популяция — сообщество — биосфера. В мегамир входят: планеты — звезды — галактика — Метагалактика — Вселенная.

2. В современной науке все более четко отражается мысль о сложной микроструктуре вакуума. Применение квантовой теории к электромагнитному полю и полям, описывающим частицы в вакууме, привело Дирака к предсказанию существования античастиц и формированию нового взгляда на пустоту.

3. *Ядра* — это связанные системы протонов и нейтронов, т.е. элементарных частиц. Атом есть наименьшая структурная единица химического элемента. С развитием науки было установлено, что атом имеет «планетарную» модель

строения, т.е. состоит из ядра и обращающихся вокруг него электронных орбит. Учение об атомистическом строении материи, связанное с делимостью веществ, зародилось еще в древности. Молекула является наименьшей структурной единицей сложного химического соединения — вещества.

4. При определенных условиях однотипные атомы и молекулы могут собираться в огромные совокупности — макроскопические тела (вещество). Простое вещество является атомарным, сложное — молекулярным.

5. *Вид* — это группа скрещивающихся между собой организмов, которые не могут скрещиваться с представителями других таких групп. На Земле существует 500 тыс. видов растений и 1,5 млн видов животных, в том числе позвоночных — 70 тыс., птиц — 16 тыс., млекопитающих — 12 540 видов.

6. *Популяцией* называется группа организмов, относящихся к одному или близким видам и занимающих определенную область, называемую местообитанием. Сообществом, или биоценозом, называют совокупность растений и животных, населяющих участок среды обитания. Совокупность сообщества и среды носит название экологической системы, или биогеоценоза. Биосферу можно определить как систему биогеоценозов или живых сообществ, т.е. совокупность живых организмов, ограниченную в пространстве и во времени, обитающую на поверхности Земли, а также взаимодействия живых систем со средой их обитания.

7. Следующей ступенью в иерархии объектов природы являются макротела астрономического масштаба — планеты. Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются звезды — небесные тела, подобные нашему Солнцу и находящиеся в состоянии плазмы. Солнце, звезды и звездные скопления, наблюдаемые на небе, образуют систему, которую мы называем нашей Галактикой. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики. Галактики имеют тенденцию располагаться по границам гигантских ячеек. Ячеистая структура распределения галактик является наиболее крупной структурой Метагалактики — видимой части Вселенной. Система галактик и их скоплений называется Метагалактикой. Под Вселенной понимают весь окружающий нас известный нам и неизвестный мир, который мы можем познать.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

О, сколько нам открытий чудных  
Готовит просвещения дух  
И опыт, сын ошибок трудных,  
И гений, парадоксов друг,  
И случай, бог — изобретатель.

А. С. Пушкин

### План семинара

1. Структурное строение окружающего мира.
2. Современные концепции о микромире.
3. Макромир и его основные свойства.
4. Характеристика структур мегамира.

### Методические советы и упражнения

#### Основные понятия

**Аннигиляция** (лат. «annihilatio» — превращение в ничто, уничтожение) — в современной физике этот термин используется для обозначения превращения элементарной частицы и античастицы при их столкновении в другие частицы, например электрона и позитрона в фотоны.

**Биосфера** (греч. «bios» — жизнь + сфера) — область распространения жизни на Земле. Включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и литосферу, населенную живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности.

**Вид** — совокупность организмов, обладающих единым генофондом, способных в природных условиях скрещиваться между собой, обладающих общими морфологическими признаками, биологически изолированных от популяций других видов.

**Всеобъемлющая Вселенная** — это вся материя в целом, взятая во всем ее потенциально возможном пространственно-временном структурном многообразии как совокупное множество всех потенциально возможных материальных миров.

**Вселенная** — весь материальный мир, безграничный в пространстве, развивающийся во времени, окружающий нас и познаваемый нами.

**Галактика** (греч. «galaktikos» — млечный, молочный) — наша звездная система, включающая в себя звезды Млечного пути —  $2 \cdot 10^{11}$  звезд, в том числе Солнце со всеми планетами.

**Комета** (*греч.* «kometes» — длинноволосый, хвостатый) — тело Солнечной системы, движущееся по сильно вытянутой орбите, имеющее вдали от Солнца вид слабо светящегося размытого облачка со светлым сгустком в центре — ядром.

**Космос** (*греч.* «κόσμος» — строй, порядок, мир, Вселенная) — синоним астрономического определения Вселенной; часто выделяют так называемый ближний космос — межпланетную и околоземную среду, исследуемую при помощи космических летательных аппаратов, а также дальний космос — мир звезд и галактик.

**Метагалактика** — изученная в настоящее время часть Вселенной со всеми находящимися в ней галактиками и другими объектами.

**Метеориты** (*греч.* «meteora» — небесные явления) — упавшие на Землю из межпланетного пространства обломки камней или куски железа, не успевшие полностью разрушиться и сгореть при движении в атмосфере.

**Млечный путь** — пересекающая звездное небо неярко светящаяся полоса неправильной формы, представляющая собой огромное количество слабых звезд, невидимых отдельно невооруженным глазом. Все они входят в нашу звездную систему — Галактику, одной из звезд которой является Солнце. Полоса Млечного пути — наиболее плотная часть Галактики.

**Популяция** (*фр.* «populus» — население) — совокупность особей одного вида, населяющая некоторую территорию, относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом. Рассматривается как элементарная единица эволюции.

**Сообщество**, или биоценоз, — совокупность растений и животных, населяющих участок среды обитания.

**Экологическая система**, или биогеоценоз, — взаимобусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом веществ и энергией.

### Тестовые задания

1. Какое определение наиболее точно характеризует вакуум?

- а) безвоздушное пространство;
- б) пустота;
- в) отсутствие всякого присутствия;
- г) наименьшее энергетическое состояние поля, при котором число квантов равно нулю;



- д) мир виртуальных частиц, которые превращаются в реальные частицы.
2. Когда образуется молекула?
- а) при взаимодействии любых атомов;
  - б) при любых реакциях между химическими элементами;
  - в) когда совместная орбита атомов, образующих молекулу, полностью заполнена электронами;
  - г) при сообщении атомам энергии активации;
  - д) когда при соединении атомов выделяется энергия.
3. Что не является структурной единицей мегамира?
- а) звезда;
  - б) планета;
  - в) биосфера;
  - г) галактика;
  - д) Метагалактика.
4. Что не является структурной единицей макромира?
- а) вещество;
  - б) популяция;
  - в) биосфера;
  - г) Вселенная;
  - д) вид.
5. Какое из состояний вещества наиболее распространено в Метагалактике?
- а) твердое;
  - б) жидкое;
  - в) газообразное;
  - г) плазменное;
  - д) все распространены одинаково.
6. Каков диаметр нашей Галактики?
- а) 100 000 а.е.;
  - б) 100 000 световых лет;
  - в) 10 000 пк;
  - г) 20 кпк.
7. Чем определяется энергия связи ядер?
- а) массой протонов и нейтронов;
  - б) величиной энергии сильного взаимодействия;
  - в) размером ядра;
  - г) массой нуклонов в ядре;
  - д) разницей масс свободных нуклонов и массой ядра.

8. Когда происходит аннигиляция?
- а) при столкновении адронов и лептонов;
  - б) взаимодействии кварков;
  - в) встрече частицы и античастицы;
  - г) столкновении электрона и протона;
  - д) соударении лептонов и мезонов.
9. Сколько звезд входит в нашу Галактику?
- а) 2 млрд;
  - б) более 100 млрд;
  - в) столько же звезд, сколько в самых больших звездных скоплениях;
  - г) 6000;
  - д) 200 млн.
10. Какие области не входят в структуру современной научной материальной картины мира?
- а) мегамир;
  - б) пространство;
  - в) макромир;
  - г) микромир;
  - д) ни один из них.
11. В каком порядке располагаются планеты Солнечной системы?
- а) Марс, Венера, Меркурий, Юпитер, Земля, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон;
  - б) Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон;
  - в) Меркурий, Марс, Земля, Венера, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон;
  - г) Меркурий, Венера, Марс, Земля, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон;
  - д) Венера, Меркурий, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.
12. Расстояние от Солнца до края диска Галактики равно:
- а) 5000 пк, так как диаметр диска равен 30 000 пк;
  - б) примерно 15 000 пк;
  - в) 30 000 световых лет;
  - г) практически нулю.
13. Как распределены галактики в Метагалактике?
- а) равномерно;
  - б) концентрация их увеличивается к ядру;

- в) беспорядочно и хаотически;
  - г) образуют ячеистую, сетчатую структуру;
  - д) произвольно.
14. Что не входит в состав микромира?
- а) вакуум;
  - б) атом;
  - в) ядро;
  - г) клетка;
  - д) макротела;
  - е) молекула.
15. Наименьшей структурной единицей чего является атом?
- а) химического соединения;
  - б) химического элемента;
  - в) вещества;
  - г) макротела;
  - д) ядра.
16. Почему 9 больших планет являются после Солнца основными телами Солнечной системы?
- а) потому что после Солнца это самые массивные тела в Солнечной системе;
  - б) некоторые планеты видны невооруженным глазом;
  - в) некоторые планеты имеют свои системы спутников;
  - г) планеты обращаются вокруг Солнца;
  - д) Солнце находится в центре планет.
17. Почему центральным телом Солнечной системы считается Солнце?
- а) потому что Солнце — единственная звезда в Солнечной системе;
  - б) Солнце — самое массивное тело в Солнечной системе;
  - в) Солнце — источник жизни на Земле;
  - г) Солнце — самое горячее тело Солнечной системы;
  - д) Солнце находится в середине системы.
18. По каким орбитам движутся планеты вокруг Солнца?
- а) по окружностям;
  - б) эллипсам, близким к окружностям;
  - в) параболам;
  - г) гиперболам;
  - д) всевозможным.

19. Какие из планет Солнечной системы не имеют спутников?
- а) Меркурий и Плутон;
  - б) Венера и Плутон;
  - в) Меркурий и Нептун;
  - г) Меркурий и Венера;
  - д) Венера и Марс.
20. Где расположено Солнце в Галактике?
- а) является центром Галактики;
  - б) в ядре Галактики;
  - в) в основной плоскости диска Галактики, но не в центре ее, а ближе к краю;
  - г) в середине основной плоскости диска Галактики;
  - д) по краю основной плоскости диска Галактики.
21. Как располагаются плоскости планетных орбит в Солнечной системе?
- а) проходят через Солнце;
  - б) наклонены под очень малыми углами к плоскости движения Земли вокруг Солнца;
  - в) наклонены к плоскости земной орбиты под самыми различными углами (от 0 до  $180^\circ$ ), подобно орбитам комет;
  - г) расположены вблизи плоскости солнечного экватора;
  - д) расположены вблизи одной плоскости.
22. Как изменяются периоды обращения планет с удалением планеты от Солнца?
- а) чем дальше планета от Солнца, тем больше ее период обращения вокруг него;
  - б) период обращения планеты не зависит от ее расстояния до Солнца;
  - в) чем дальше планета от Солнца, тем меньше ее период обращения;
  - г) периоды обращения планет разнообразны;
  - д) нет определенной закономерности.
23. Расстояние от Солнца до центра Галактики равно:
- а) 10 000 пк;
  - б) 100 000 световых лет;
  - в) 15 кпк;
  - г) настолько мало, что Солнце можно считать центром Галактики;
  - д) 50 000 световых лет.

24. В каком направлении движутся планеты по своим орбитам?

- а) все планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении, как Земля в прямом;
- б) все планеты движутся вокруг Солнца в прямом направлении, кроме Венеры и Урана;
- в) некоторые планеты движутся вокруг Солнца в прямом направлении, некоторые в противоположном;
- г) все планеты движутся в направлении, противоположном вращению Солнца;
- д) движение планет разнообразно.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Каково структурное строение микромира, макромира и мегамира?

2. Что собой представляет по современным научным концепциям вакуум?

3. Элементарными частицами каких структур являются атом и молекула?

4. Расскажите, что такое кварк.

5. Как классифицирует современная наука элементарные частицы?

6. Какие агрегатные состояния материи известны?

7. Какие закономерности обнаружены в строении, движении и свойствах Солнечной системы?

8. Какие основные параметры определяют свойства звезд?

9. Как распределены галактики во Вселенной?

10. Чем отличаются понятия «Метагалактика» и «Вселенная»?

11. Как соотносятся между собой понятия «мир», «космос», «Вселенная»?

12. Как можно истолковать такое высказывание: «Вселенная, в которой мы живем, безгранична, но конечна»?

13. Можно ли считать Солнечную систему единственной планетной системой?

14. Какова структура Солнечной системы?

15. Назовите большие планеты Солнечной системы.

16. Какая из планет расположена наиболее близко к Солнцу?

17. Какие из планет земной группы имеют атмосферу?

18. В чем отличия атмосферы Земли от атмосферы иных планет?

19. Может ли служить тектоническая активность критерием жизнеспособности планеты?
20. В чем проявляются тектонические процессы на Земле?
21. Что означает глобальная асимметрия двух полушарий Земли?
22. Назовите основные виды рельефа континентальной части планеты.
23. Где расположены континентальные плиты?
24. Почему среди планет земной группы только Земля является жизнеспособной планетой?
25. Какова природа земного магнетизма?

### Тематика рефератов

1. Иерархия структур природы (мега-, макро- и микромиры).
2. Идеи элементарности и структурности от Демокрита до наших дней.
3. Физический вакуум: мир на границе реального.
4. Агрегатные состояния вещества (твердое, жидкое, газообразное и плазменное).
5. Структурные уровни организации материи и их характеристика.
6. Влияние космического излучения и солнечной энергии на живые тела и Землю.
7. Нуклеосинтез в начальной фазе развития Вселенной.
8. Звездный нуклеосинтез.
9. Разновидности материи и Вселенная.
10. Структура Вселенной.
11. Солнечная система.
12. Планеты земной группы.

### Литература

1. *Гусейханов, М.К.* Концепции современного естествознания / М.К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Рузавин, Г.И.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 288 с.
3. *Горелов, А.А.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 342 с.
4. *Карпенков, С.Х.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 520 с.

## Глава 6

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДВИЖЕНИЯ СТРУКТУР МИРА

### 6.1. Четыре вида взаимодействий и их характеристика

Тому, кто сумеет постичь Вселенную  
с единой точки зрения, мироздание кажется  
неповторимым явлением и великим  
откровением.

*Даламбер*

Все отмеченные выше структурные объекты мира объединяются в системы вследствие взаимодействий между собой. Под **взаимодействием** в более узком смысле понимают такие процессы, в ходе которых между взаимодействующими структурами и системами происходит обмен квантами определенных полей, энергией, а иногда и информацией.

В природе существуют качественно различные системы связанных объектов. Ядра — связанные системы протонов и нейтронов; атомы — связанные ядра и электроны; макротела — совокупность атомов и молекул; солнечная система — «связка» планет и массивной звезды; галактика — «связка» звезд. Наличие связанных систем объектов говорит о том, что должно существовать нечто такое, что скрепляет части системы в целое. Чтобы «разрушить» систему частично или полностью, нужно затратить энергию. Взаимное влияние частей системы или структурных единиц происходит посредством полей (гравитационного, электрического, магнитного и др.) и характеризуется энергией взаимодействия. В настоящее время принято считать, что любые взаимодействия каких угодно объектов могут быть сведены к ограниченному классу *четырех основных фундаментальных взаимодействий*: сильному, электромагнитному, слабому и гравитационному (табл. 6.1).

Интенсивность взаимодействия принято характеризовать с помощью так называемой константы взаимодействия, которая представляет собой безразмерный параметр, определяющий вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия. (В табл. 6.2 представлены обозначения и числовые значения фундаментальных постоянных.)

Таблица 6.1

**Характеристика видов взаимодействия**

Вид взаимодействия	Сила взаимодействия (относительные единицы)	Полевой квант	Область проявления
Сильные	$-15$ $\leq 1$	Пионы Глюоны	Атомные ядра Фундаментальные частицы
Электромагнитные	$-10^{-3}$	Фотоны	Атомы, электротехника
Слабые	$-10^{-5}$	$Z^0$ -, $W(\pm)$ -бозоны	Радиоактивный распад, распадные процессы
Гравитационные	$-10^{-39}$	Гравитон	Массивные тела и фотон

Таблица 6.2

**Фундаментальные мировые постоянные**

№	Константа	Обозначение	Числовое значение
1	Скорость света в вакууме	$c$	$3 \cdot 10^8$ м/с
2	Элементарный заряд	$e$	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
3	Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$
4	Масса покоя электрона	$m_e$	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
5	Масса покоя протона	$m_p$	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
6	Масса покоя нейтрона	$m_n$	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
7	Постоянная Фарадея	$F$	$9,65 \cdot 10^4$ Кл·моль $^{-1}$
8	Постоянная Планка	$h$	$6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
9	Постоянная тонкой структуры	$\alpha$	$7,3 \cdot 10^3$
10	Отношение заряда и массы электрона	$\frac{e}{m_e}$	$1,76 \cdot 10^{11}$ Кл·кг $^{-1}$
11	Комптоновская длина волны электрона	$\tau_c$	$2,4 \cdot 10^{-12}$ м



Окончание табл. 6.2

№	Константа	Обозначение	Числовое значение
12	Постоянная Ридберга	$R_\infty$	$1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
13	Радиус Бора	$a_0$	$5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
14	Радиус электрона	$r_e$	$2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}$
15	Гиромагнитное отношение протона	$\gamma$	$2,7 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$
16	Магнетон Бора	$\mu_B$	$9,3 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
17	Ядерный магнетон	$\mu_N$	$5,1 \cdot 10^{-27} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
18	Момент протона	$\mu_p$	$1,4 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
19	Аномальный момент электрона	$\mu_e / \mu_B^{-1}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$
20	Зеемановская константа расширения	$2 \pi \mu_B / (hc)$	$4,7 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$
21	Газовая постоянная	$R$	$8,3 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$
22	Нормальный объем идеального газа	$V_0$	$2,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$
23	Постоянная Больцмана	$K$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
24	Первая постоянная излучения	$c_1$	$3,7 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$
25	Вторая постоянная излучения	$c_2$	$1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$
26	Постоянная закона смещения Вина	$b$	$2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
27	Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma$	$5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Тл}^{-1}$
28	Гравитационная постоянная	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
29	Константа электромагнитного взаимодействия	$\alpha$	$1/137$
30	Электрическая и магнитные постоянные	$\epsilon_0$ $\mu_0$	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$ $1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$

Отношение значений констант дает относительную интенсивность соответствующих взаимодействий. Кратко охарактеризуем каждое из этих четырех видов взаимодействий.

**Сильные (ядерные) взаимодействия.** Наличие в ядрах одинаково заряженных протонов и нейтральных частиц говорит о том, что должны существовать взаимодействия, которые гораздо интенсивнее электромагнитных, ибо иначе ядро не могло образоваться. Эти взаимодействия, их называют сильными, проявляются лишь в пределах ядра и обеспечивают связь нуклонов в ядре. Константу сильного взаимодействия примем равной 1. Наибольшее расстояние, на котором проявляется сильное взаимодействие (радиус действия  $r$ ), составляет примерно  $10^{-13} \text{ см}$ .

**Электромагнитные взаимодействия.** Ими обусловлены связи в атомах, молекулах и обычных макротелах. Энер-

гия ионизации атома, т.е. энергия отрыва электрона от ядра, определяет значение электромагнитного взаимодействия, существующего в атоме. Теплота парообразования, т.е. энергия перехода жидкость — пар (при атмосферном давлении), определяет, правда, довольно грубо, значение межмолекулярных взаимодействий в теле. Последние же имеют электромагнитное происхождение. Константа взаимодействия равна  $10^{-3}$ . Радиус действия не ограничен ( $r = \infty$ ).

**Слабое взаимодействие.** Это взаимодействие ответственно за все виды  $\beta$ -распада ядер (включая  $e$ -захват), за многие распады элементарных частиц, а также за все процессы взаимодействия нейтрино с веществом. Константа взаимодействия равна величине порядка  $10^{-5}$ . Слабое взаимодействие, как и сильное, является короткодействующим. Как отмечалось, из большого списка элементарных частиц только электрон, протон, фотон и нейтрино всех типов являются стабильными. Под влиянием «внутренних причин» нестабильные свободные частицы за те или иные характерные времена превращаются в другие частицы. Медленные распады с характерным временем  $10^{-10}$ – $10^{-6}$  с происходят за счет так называемого слабого взаимодействия, тогда как быстрый распад ( $10^{-16}$  с) происходит под влиянием электромагнитных взаимодействий.

**Гравитационные взаимодействия (тяготения).** Притяжение тел к Земле, существование Солнечной системы, звездных систем (галактик) обусловлено взаимодействием сил тяготения, или, иначе, гравитационными взаимодействиями. Эти взаимодействия универсальны, т.е. применимы к любым микро- и макрообъектам. Однако они существенны лишь для тел огромных астрономических масс и для формирования структуры и эволюции Вселенной как целого. Гравитационные взаимодействия очень быстро ослабевают для объектов с малыми массами и практически не играют роли для ядерных и атомных систем. Проявления гравитации количественно были изучены одними из первых. Это не случайно, так как источником гравитации являются массы тел, а дальность гравитационного взаимодействия не ограничена. Константа взаимодействия имеет значение порядка  $10^{-39}$ . Радиус действия не ограничен ( $r = \infty$ ). Гравитационное взаимодействие является универсальным, ему подвержены все без исключения элементарные частицы. Однако в процессах микромира гравитационное взаимодействие ощутимой роли не играет. В вопросах строения и развития мира как целого роль гравитации становится определяющей. Исследование же конкретных небесных объектов

(звезд, пульсаров, квазаров и др.) невозможно без привлечения всех видов фундаментальных взаимодействий.

Несомненно, приведенная классификация взаимодействий отражает современный уровень развития науки. В будущем, возможно, взаимодействия будут либо объединены, либо их останется меньше, если обнаружатся связи между константами взаимодействия. Например, уже удалось описать в рамках единой теории электромагнитное и слабое взаимодействия. Между константами взаимодействия и характеристиками Вселенной существует какая-то удивительная зависимость. Например, отношение радиуса Метагалактики ( $R = 5 \cdot 10^{27}$  см) к размерам атома равно отношению электромагнитных и гравитационных сил, действующих между элементарными частицами.

## 6.2. Концепции близкодействия и дальнегодействия

Наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными.

*А. Эйнштейн*

Близкодействие и дальнеедействие — это взаимно противоположные взгляды для объяснения взаимодействия материальных структур. По концепции **близкодействия** любое взаимодействие на материальные объекты может быть передано только между соседними точками пространства за конечный промежуток времени. **Дальнеедействие** допускает действие на расстоянии мгновенно с бесконечной скоростью, т.е. фактически вне времени и пространства. После Ньютона эта концепция получает широкое распространение в физике, хотя он сам понимал, что введенные им силы дальнегодействия (например, силы тяготения) являются лишь формальным приближенным приемом, позволяющим дать верное в некоторых пределах описание наблюдаемых явлений. Окончательное утверждение принципа близкодействия пришло с выработкой концепции физического поля как материальной среды. Уравнения поля описывают состояние системы в данной точке в фиксированный момент времени как зависящее от состояния в ближайший предшествующий момент в ближайшей соседней точке. Если электромагнитное поле может существовать независимо от материального носителя, то электрическое взаимодействие

нельзя объяснить действием на расстоянии. Поэтому ньютоново дальноедействие уступило место близкоедействию, полям, распространяющимся в пространстве с конечной скоростью.

### 6.3. Взаимопревращение видов материи. Принцип суперпозиции

Господи, дай мне разум и душевный  
покой, чтобы принять смиренно то, что  
я не в силах изменить; дай мне мужество,  
чтобы изменить то, что я в состоянии  
изменить; дай мне мудрость, о господи,  
чтобы не путать первое со вторым!

*Из Еклизиаста*

Вся совокупность элементарных частиц с их взаимодействиями проявляет себя макроскопически в форме вещества и поля. Поле, в отличие от вещества, обладает особыми свойствами. Физическая реальность электромагнитного поля видна хотя бы из того, что существуют радиоволны. Источником электромагнитного поля являются движущиеся заряженные частицы. Взаимодействие зарядов происходит по схеме: частица — поле — частица. Поле является переносчиком взаимодействия. В некоторых условиях поле может «оторваться» от своих источников и свободно распространяться в пространстве. Такое поле носит волновой характер.

Как получают сведения о состоянии вещества звезд? Атомные процессы, которые происходят во внешних оболочках звезд, сопровождаются излучением электромагнитных волн. Одним из таких процессов является возбуждение атомов, ведущее к излучению ряда характерных «порций» электромагнитного поля (спектр). У каждого химического элемента имеется свой, только ему присущий спектр излучения. Анализируя, например, солнечный свет (свет является электромагнитным излучением) с помощью оптических приборов, можно определить химический состав и процентное содержание элементов во внешних оболочках Солнца.

В современной естественно-научной картине мира как вещество, так и поле состоят из элементарных частиц, а частицы взаимодействуют друг с другом, взаимно превращаются. На уровне элементарных частиц происходит взаимодействие поля и вещества. Так, фотоны могут превратиться

в электронно-позитронные пары, а эти пары в процессе взаимодействия уничтожаются (аннигилируются) с образованием фотонов. Более того, вакуум тоже состоит из частиц (виртуальных частиц), которые взаимодействуют как друг с другом, так и с обычными частицами. Таким образом, фактически исчезают границы между веществом и полем и даже между вакуумом, с одной стороны, и веществом и полем — с другой. На фундаментальном уровне все грани в природе действительно оказываются условными. В современной естественно-научной картине мира вещество и поле взаимно превращаются. Поэтому сегодня предпринимаются настойчивые попытки создать единую теорию всех видов взаимодействий.

При наличии нескольких полей для определения результирующего взаимодействия применяют **принцип суперпозиции**. Принцип суперпозиции в естествознании позволяет получать результирующий эффект от наложения (суперпозиции) нескольких независимых взаимодействий как сумму эффектов, вызываемых каждым взаимодействием в отдельности. Он справедлив для систем, описываемых линейными уравнениями. Принцип суперпозиции широко используется в механике, теории колебаний и волновой теории физических полей. В квантовой механике принцип суперпозиции относится к волновым функциям. Согласно этому физическая система может также находиться в состоянии, описываемом любой линейной комбинацией этих функций.

## 6.4. Фундаментальные постоянные мироздания

Порядок — первый закон Небес.

*Александр Поп*

Фундаментальные мировые постоянные — это такие константы, которые дают информацию о наиболее общих, основополагающих свойствах материи. К таковым, например, относятся  $G$ ,  $c$ ,  $e$ ,  $\hbar$ ,  $m_e$  и др. Общее, что объединяет эти константы, — это содержащаяся в них информация. Так, гравитационная постоянная  $G$  является количественной характеристикой универсального, присущего всем объектам Вселенной взаимодействия — тяготения. Скорость света  $c$  есть максимально возможная скорость распространения любых взаимодействий в природе. Элементарный заряд  $e$  — это минимально возможное значение электри-

ческого заряда, существующего в природе в свободном состоянии (обладающие дробными электрическими зарядами кварки, по-видимому, в свободном состоянии существуют лишь в сверхплотной и горячей кварк-глюонной плазме). Постоянная Планка  $\hbar$  определяет минимальное изменение физической величины, называемое действием, и играет фундаментальную роль в физике микромира. Масса покоя  $m_e$  электрона — характеристика инерционных свойств легкой стабильной заряженной элементарной частицы.

Константой некоторой теории называется значение, которое в рамках этой теории считается всегда неизменным. Наличие констант при выражениях многих законов природы отражает относительную неизменность тех или иных сторон реальной действительности, проявляющуюся в наличии закономерностей.

Сами фундаментальные постоянные  $c$ ,  $\frac{\hbar^2}{m_e c^2}$ ,  $e$ ,  $G$  и другие являются едиными для всех участков Метагалактики и с течением времени не меняются — по этой причине их называют мировыми постоянными. Некоторые комбинации мировых постоянных определяют нечто важное в структуре объектов природы, а также формируют характер ряда фундаментальных теорий: значение константы  $\frac{\hbar^2}{m_e c^2}$ , где  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ , определяет размер пространственной оболочки для атомных явлений (здесь  $m_e$  — масса электрона);  $\frac{m_e c^4}{\hbar^2}$  — характерные энергии для этих явлений;  $\frac{hc}{e}$  — квант для крупномасштабного магнитного потока в сверхпроводниках;  $\left(\frac{c\hbar}{G}\right)^{3/2} \cdot m_N^{-2}$  — предельная масса стационарных астрофизических объектов;  $m_N$  — масса нуклона;

Весь математический аппарат квантовой электродинамики основан на факте существования малой безразмерной величины  $\frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$ , определяющей интенсивность электромагнитных взаимодействий.

Анализ размерностей фундаментальных постоянных приводит к новому пониманию проблемы в целом. Отдельные размерные фундаментальные постоянные, как уже отмечалось выше, играют определенную роль в структуре

соответствующих физических теорий. Когда речь идет о выработке единого теоретического описания всех физических процессов, формирования единой научной картины мира, размерные физические постоянные уступают место безразмерным фундаментальным константам, таким как  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$ ,  $\alpha_g$ ,  $m_c/m_p$  и  $m_n - m_p$ . Роль этих постоянных в формировании структуры и свойств Вселенной очень велика. Постоянная тонкой структуры  $\alpha_e$  является количественной характеристикой одного из четырех фундаментальных взаимодействий, существующих в природе, — электромагнитного. Помимо электромагнитного взаимодействия другими фундаментальными взаимодействиями являются гравитационное, сильное и слабое. Существование безразмерной константы электромагнитного взаимодействия  $\alpha_s = e^2/(\hbar c) \approx 1/137$  предполагает, очевидно, наличие аналогичных безразмерных констант, являющихся характеристиками остальных трех типов взаимодействий. Эти константы также характеризуются следующими безразмерными фундаментальными постоянными: константа сильного взаимодействия  $\alpha_s \approx 1$ ; константа слабого взаимодействия:

$$\alpha_w = \frac{g_f m_p c^2}{\hbar^3} \approx 10^{-5},$$

где величина  $g_f = 10^{-5}/m_p \approx 10^{-61}$  Дж·м<sup>3</sup> — постоянная Ферми для слабых взаимодействий; константа гравитационного взаимодействия  $\alpha_g = \frac{G m_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-39}$ .

Числовые значения констант  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$  и  $\alpha_g$  определяют относительную «силу» этих взаимодействий. Так, электромагнитное взаимодействие примерно в 137 раз слабее сильного. Самым слабым является гравитационное взаимодействие, которое в  $10^{39}$  раз меньше сильного. Константы взаимодействия определяют также, насколько быстро идут превращения одних частиц в другие в различных процессах. Константа электромагнитного взаимодействия описывает превращения любых заряженных частиц в те же частицы, но с изменением состояния движения плюс фотон. Константа сильного взаимодействия является количественной характеристикой взаимных превращений барионов с участием мезонов. Константа слабого взаимодействия  $\alpha_w$  определяет интенсивность превращений элементарных частиц в процессах с участием нейтрино и антинейтрино.

Необходимо отметить еще одну безразмерную физическую константу, определяющую размерность физического пространства, которую обозначим через  $N$ . Для нас является привычным то, что физические события разыгрываются в трехмерном пространстве, т.е.  $N = 3$ , хотя развитие физики неоднократно приводило к появлению понятий, не укладывающихся в «здоровый смысл», но отображающих реальные процессы, существующие в природе.

Таким образом, «классические» размерные фундаментальные постоянные играют определяющую роль в структуре соответствующих физических теорий. Из них формируются фундаментальные безразмерные постоянные единой теории взаимодействий —  $\alpha_s$ ,  $\alpha_e$ ,  $\alpha_w$ ,  $\alpha_g$ . Эти константы и некоторые другие, а также размерность пространства  $N$  определяют структуру Вселенной и ее свойства.

## 6.5. Антропный космологический принцип

Религия всегда оказывается права.

Она разрешает все вопросы и, следовательно, снимает все вопросы в мире. Религия придает нам уверенность, незыблемость, умиротворение и сознание абсолютности. Она защищает нас от прогресса, который всех нас приводит в трепет.

Наука поступает совсем наоборот. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десяток новых.

*Б. Шоу*

Идеи антропного космологического принципа, развивавшиеся в последнем столетии XX в., представляют большой научный интерес с точки зрения ответа на вопросы происхождения, развития и эволюции окружающего мира. Основная идея этого принципа состоит в том, что фундаментальные свойства Вселенной, значения основных физических констант и даже форма физических закономерностей тесно связаны с фактом структурности Вселенной во всех масштабах — от элементарных частиц до сверхскоплений галактик; с возможностью существования условий, при которых возникают сложные формы движения материи и в конце концов жизнь и человек.

Почему из бесконечной области всевозможных значений фундаментальных физических постоянных, характеризую-



ющих физические взаимодействия, и бесконечного разнообразия начальных условий, которые могли существовать в очень ранней Вселенной, реализуются величины и условия, приводящие к вполне конкретному набору особенностей, наблюдаемых нами? В пространстве  $N$  измерений точечные источники взаимодействуют с силой  $F \sim 1/r^{n-1}$ , где  $r$  — расстояние между источниками. Можно показать, что устойчивые движения двух тел, взаимодействующих по такому закону, отсутствуют при  $N > 3$ . Еще в 20-е гг. XX столетия П. Эренфест показал, что если бы число пространственных координат  $N$  было равно четырем, то не существовало бы замкнутых орбит планет и, естественно, Солнечной системы и человека. При  $N = 4$  была бы невозможна также атомная структура вещества. При  $N < 2$  движение происходит в ограниченной области. Только при  $N = 3$  возможны как связанные, так и несвязанные движения, что как раз и реализуется в наблюдаемой Вселенной.

Исследования показывают, что Вселенная, в которой мы живем, удачно приспособлена для нашего существования. Основные свойства Вселенной объясняются значениями нескольких фундаментальных постоянных (гравитационная постоянная, масса протона и электрона, заряд электрона, скорость света и др.). В наблюдаемой Вселенной существует удивительное совпадение, вернее, согласование энергии расширения Вселенной и ее гравитационной энергии; фундаментальные константы гравитационного, сильного, слабого, электромагнитного взаимодействий имеют такие значения, что обеспечивается возможность возникновения галактик и звезд, в том числе стабильных, в которых термоядерные реакции протекают в течение многих миллиардов лет.

Для иллюстрации связи характеристик Вселенной с физическими константами представьте себе, что произошло бы при изменении значений фундаментальных мировых постоянных. Например, если бы масса электрона была в 3–4 раза выше ее нынешнего значения, то время существования нейтрального атома водорода исчислялась бы несколькими днями. А это привело бы к тому, что галактики и звезды состояли бы преимущественно из нейтронов и многообразия атомов и молекул в их современном виде просто не существовало бы.

Современная структура Вселенной очень жестко обусловлена величиной  $\Delta m_n = m_n - m_p$ , т.е. разницей в массах нейтрона и протона. Разность очень мала и составляет все-

го около  $10^{-3}$  от массы протона. Однако если бы она была в три раза больше, то во Вселенной не мог бы происходить нуклеосинтез и в ней не было бы сложных элементов. Увеличение константы сильного взаимодействия всего на несколько процентов привело бы к тому, что уже в первые минуты расширения Вселенной водород полностью выгорел бы и основным элементом в ней стал бы гелий.

Константа электромагнитного взаимодействия тоже не может существенно отклоняться от своего значения —  $1/137$ . Если бы, например, она была  $1/80$ , то все частицы, обладающие массой покоя, аннигилировали бы и Вселенная состояла бы только из безмассовых частиц.

Достаточно было сравнительно небольшого отличия констант от существующих в действительности, чтобы либо галактики и звезды вообще бы не успели возникнуть к нашему времени (если бы константа гравитационного взаимодействия была на 8—10% меньше), либо звезды эволюционировали бы слишком быстро (если бы она была больше на 8—10%). В соотношении констант обнаружены такие тонкости, что, например, константа сильного взаимодействия обеспечивает протекание ядерного синтеза в недрах звезд с образованием углерода и кислорода, которые поставляются в космос при взрыве сверхновых звезд и служат в дальнейшем материалом для формирования звезд второго поколения типа Солнца и планетных систем. Ясно, что даже небольшого отклонения от константы сильного взаимодействия было бы достаточно, чтобы жизнь на Земле оказалась невозможной. Если бы величины этих констант несколько отличались от их значений, то свойства Вселенной были бы совсем другими. Эти свойства являются условиями возникновения той формы жизни, которая существует на Земле. Сущность антропного принципа в том, что жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Видно, таким образом, что реальная Вселенная поразительно приспособлена для возникновения и развития в ней существующих форм жизни. Можно сказать, что нам просто повезло, — константы в Метагалактике оказались благоприятствующими для возникновения жизни, и поэтому мы существуем и познаем Вселенную. Но наряду с такой Метагалактикой имеются многие другие с иными константами, с другим распределением материи, геометрией и даже, возможно, с другими размерностями пространства, совершенно не подходящими для жизни, с условиями,

которые трудно вообразить. Другие метагалактики — это «миры иных констант». Некоторые из них совсем не похожи на нашу Вселенную, но вполне возможно, что в каких-то метагалактиках есть и разумные существа.

Суть антропного принципа, предложенного в середине XX в., заключается в следующем: Вселенная такова, какой мы ее видим, поскольку в ней существуем мы, т.е. наблюдатели, способные задаться вопросом о свойствах Вселенной; и при других параметрах во Вселенной невозможны сложные структуры и жизнь в известных нам формах. Выше было отмечено, что даже небольшие изменения фундаментальных постоянных приводят к качественным изменениям свойств Вселенной, в частности к невозможности существования сложных структур, а значит, и самой жизни.

Возможность согласованного и сильного изменения всего набора физических констант, параметров Вселенной (а в принципе и физических законов) так, чтобы получить модели других вселенных, в которых выполнены если не достаточные, то хотя бы необходимые условия для возникновения сложных структур и жизни, представляется интересным. Конечно, такая задача в полном объеме пока неразрешима.

Познание человеком свойств Вселенной — тоже эволюционный процесс, зависящий от уровня развития человеческого общества, и в первую очередь от уровня развития науки. Образы Вселенной на каждом историческом этапе были различны. Всех свойств нашей Вселенной мы еще не знаем, но фантазия теоретиков уже блуждает в запутанных лабиринтах предположений о свойствах других возможных Вселенных. Антропный принцип отнюдь не исключает возможности их существования. Их свойства могут быть таковы, что возникновение жизни в них будет невозможно и их эволюция будет проходить «без свидетелей».

## 6.6. Характер движения структур мира

Не мир запутался, к несчастью,  
мы сами путаемся в нем.

*М. Гамидов*

Все структурные объекты материального мира находятся в состоянии непрерывного движения в многообразных формах и разновидностях.

В вакууме происходит движение виртуальных частиц, в ядрах протоны и нейтроны вращаются вокруг своих осей; в атомах электроны обращаются вокруг ядер и вращаются вокруг своих осей; в кристаллах атомы и молекулы совершают колебания вблизи положений равновесий; в жидкостях к колебательным движениям атомов и молекул добавляется и их поступательное движение; в газах происходит непрерывное, беспорядочное, хаотическое движение молекул и атомов. Интенсивность движения атомов и молекул в газах, жидкостях, твердых телах тем больше, чем выше их температура.

В состоянии непрерывного разнообразного движения находятся и макроскопические тела. Например, Земля вращается вокруг своей оси со скоростью 0,5 км/с на экваторе; обращается вокруг Солнца со скоростью 30 км/с; вместе с Солнечной системой обращается вокруг ядра нашей Галактики со скоростью 240 км/с; вместе с нашей Галактикой Земля участвует в движении расширяющейся Метагалактики с огромной скоростью порядка 1000 км/с.

Все эти движения происходят в инерциальных системах отсчета. Каждая из этих инерциальных систем имеет свою определенную скорость движения, которая передается любому материальному телу данной системы независимо от движения этих тел относительно нее. Причем эти инерциальные системы неразрывно связаны, образуя структурную «лестницу». В частности, общая скорость движения Земли складывается из скорости вращения вокруг оси, обращения вокруг Солнца, движения Солнечной системы и движения нашей Галактики.

Таким образом, в одной инерциальной системе может находиться ряд подчиненных инерциальных систем, входящих последовательно одна в другую. Но наряду с этим на каждом уровне может находиться бесконечное множество равноправных инерциальных систем. Для изучения таких равноправных систем относительно друг друга необходимо использовать преобразования Галилея и Лоренца. Реальное движение тел, находящихся на разных уровнях структур движения, представляется сложным относительным движением. Причем всякое материальное тело, находящееся на данной структурной лестнице движения, обладает всеми скоростями предыдущих уровней движения.

Движение представляет собой всеобщую форму существования материи, ее основной и необходимый способ деятельности. Движение есть способ существования материи.

Материя и движение едины. Движение означает всякое изменение, превращение и переход из одного состояния материи в другое. Категории движения и взаимодействия близки по своему содержанию. Движение, как и материя, объективно и существует независимо от субъекта и характеризуется рядом общих свойств:

- движение универсально;
- движение несотворимо и неуничтожимо;
- универсальное движение материи характеризуется чертами внутренней противоречивости.

Всеобщим свойством всякого движения является противоречивое единство изменчивости и стабильности, т.е. движения и покоя. Противоречивость движения выступает в форме единства присущих движению характеристик абсолютности и относительности. Абсолютность материального движения состоит в его несотворимости и неуничтожимости, универсальности, она является ее непременным свойством. Относительность движения проявляется в многообразии конкретных изменчивых и преходящих форм движения. Еще одним общим свойством движения является присущее ему противоречивое единство прерывности и непрерывности.

Правоммерно говорить о двух основных типах движения. *Первый* тип движения — это движение, когда сохраняется качество предмета, его устойчивость. *Другой* тип движения, связанный с изменением качественного состояния предмета и характеризующийся как развитие. Выделяются две разновидности развития. *Первая* разновидность — это процессы качественных превращений, не выходящие за рамки соответствующего вида материи, определенного уровня ее организации. *Вторая* — процессы перехода от одного уровня к другому. Примером первой разновидности развития может служить эволюция звезд, формирование новых видов животных и растительных организмов, последовательные стадии развития отдельных организмов. Примером второй разновидности является формирование из элементарных частиц атомов и молекул, переход от неорганической природы к биологическим уровням организации.

Соответственно иерархии структур материи существуют качественно разнообразные формы ее движения. В настоящее время в качестве основных выделяются такие формы движения, как взаимопревращения элементарных частиц и полей, ядерные превращения, внутриатомные процессы, химические превращения, молекулярные процессы, геологическая форма

движения, органическая жизнь, общественная жизнь, различные космические процессы и т.д. Особое место в современных классификациях занимают так называемые *общие формы движения* (механическая, физическая, химическая, биологическая, тепловая, кибернетическая и др.), реализующиеся на различных структурных уровнях материи и представляющие собой общие способы существования, общие типы функционирования систем различной вещественной природы.

Различные формы и виды движения имеют структурное и генетическое единство. Диалектика форм движения материи такова, что высшие формы движения содержат в себе в подчиненном виде относительно более простые формы движения. Поэтому познание более сложных форм движения предполагает исследование относительно более простых процессов, которые составляют их основу. Однако законы высших форм движения не могут быть выведены из законов низших его форм. Нельзя сводить высшие формы движения к низшим, игнорируя их качественное своеобразие, но нельзя и отрывать высшие формы движения от низших, абсолютизируя их специфику. Мир материального движения качественно многообразен и в то же время един. Форма движения материи связана с определенным материальным носителем, имеет определенную область распространения и свои определенные законы:

- пространственное перемещение, механическая форма движения;
- электромагнитная форма движения, определяемая как взаимодействие заряженных частиц;
- гравитационная форма движения;
- сильное (ядерное) взаимодействие;
- слабое взаимодействие (поглощение и излучение нейтрона);
- химическая форма движения (процесс и результат взаимодействия молекул и атомов);
- геологическая форма движения материи (связанная с изменением в геосистемах — материках, слоях земной коры и т.д.);
- космогоническая форма движения (эволюция отдельных небесных тел и систем);
- космологическая форма движения (эволюция Вселенной);
- биологическая форма движения (обмен веществ, процессы, происходящие на клеточном уровне, наследственность и т.д.);

- социальная форма движения (процессы, происходящие в обществе);
- информационно-кибернетическая форма движения.

## Выводы

1. Современная наука любые взаимодействия структур окружающего мира сводит к *четырем основным фундаментальным взаимодействиям*: сильному, электромагнитному, слабому и гравитационному. Сильное взаимодействие является наиболее интенсивным и обуславливает связь между протонами и нейтронами в атомных ядрах, но действует на коротких расстояниях. Электромагнитное взаимодействие проявляется между заряженными телами, менее интенсивно, но радиус его действия не ограничен. Слабое взаимодействие возникает между субатомными частицами, еще менее интенсивное и кратковременное вызывает медленно протекающие процессы с элементарными частицами, в частности так называемыми квазичастицами. Гравитационное взаимодействие — наименее интенсивно и проявляется при взаимодействии больших масс, радиус его действия не ограничен.

2. Близкодействие и далекодействие — это взаимно противоположные взгляды для объяснения взаимодействия структур. По концепции близкодействия любое взаимодействие между структурами может быть передано только между соседними точками пространства за конечный промежуток времени. Далекодействие допускает действие на расстоянии с мгновенной скоростью, т.е. фактически вне времени и пространства. Окончательное утверждение принципа близкодействия пришло с выработкой концепции физического поля как материальной среды.

3. Все структуры окружающего мира находятся в состоянии непрерывного движения. *Движение является всеобщей формой существования материи*. Всякое движение может описываться только по отношению к другим телам, которые могут приниматься за системы отсчета, связанные с определенной системой координат. Все системы отсчета являются равноценными для описания законов природы.

4. *Сущность антропного космологического принципа* состоит в том, что жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Из-за того, что в очень ранней Вселенной реализовались величины и условия, приведшие к вполне конкретным значениям

современных фундаментальных физических постоянных, характеризующих физические взаимодействия, стало возможным наличие известной нам Вселенной и мы имеем способность познавать именно ее.

5. В нашей Вселенной осуществляется довольно-таки точная «подгонка» числовых значений фундаментальных констант, необходимая для существования ее основных структурных элементов — ядер, атомов, звезд и галактик. Их устойчивость создает в конечном счете условия для формирования более сложных неорганических и органических структур, а в конечном счете и жизни. Возникает довольно интересный и сложный со всех точек зрения вопрос о причинах существования такой начальной «подгонки» значений фундаментальных постоянных. Будем надеяться, ближайшее будущее науки даст ответ на этот вопрос.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Пути, которыми люди проникают в суть небесных явлений, представляются мне почти столь же удивительными, как и сами эти явления.

*И. Кеплер*

### План семинара

1. Фундаментальные взаимодействия и их характеристика.
2. Концепции близкодействия и дальнодействия. Вещество, поле, вакуум и их взаимопревращения.
3. Универсальные фундаментальные постоянные мира.
4. Антропный космологический принцип.
5. Движение — всеобщая форма существования материи. Характер движения структур в мире.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Адроны** (*греч.* «adros» — сильный) — общее название элементарных частиц, подверженных сильному взаимодействию.

**Взаимодействие** — такие процессы и явления, в ходе которых между взаимодействующими структурами и системами происходит обмен квантами физических полей, энергией, а иногда информацией.



**Близкодействие** — концепция, утверждающая, что любое взаимодействие между материальными объектами может быть передано только между соседними точками пространства за конечный промежуток времени или от тела к телу, от точки к точке с конечной скоростью.

**Гравитация** (лат. «gravitas» — тяжесть) — силы всемирного тяготения, образующие гравитационное поле.

**Гравитон** — гипотетическая частица гравитационного поля, движущаяся со скоростью света и не имеющая массы покоя (введена для объяснения гравитационного взаимодействия).

**Волны материи** — понятие, введенное французским физиком Луи де Бройлем для обозначения волновых свойств материальных частиц.

**Дальнодействие** — допускает действие на расстоянии мгновенно с бесконечной скоростью, т.е. фактически вне времени и пространства.

**Квант** — минимальное количество или неделимая порция какой-либо величины (энергии, поля и т.п.).

**Пи-мезоны** — элементарные частицы, с помощью которых осуществляется взаимодействие между частицами, входящими в состав ядер атомов.

**Тяготение** — одна из форм взаимодействия между телами, присущая любым видам материи.

**Антропный космологический принцип** — концепция, согласно которой жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции.

**Фундаментальные мировые постоянные** — это такие константы, которые дают информацию о наиболее общих, основополагающих свойствах материи.

**Сильное взаимодействие** является наиболее интенсивным и обуславливает связь между протонами и нейтронами в атомных ядрах, но действует на коротких расстояниях порядка  $10^{-13}$  см.

**Электромагнитное взаимодействие** проявляется между заряженными телами, менее интенсивно, чем сильное, но радиус его действия не ограничен.

**Слабое взаимодействие** возникает между субатомными частицами, еще менее интенсивное и кратковременное, вызывает медленно протекающие процессы с элементарными частицами. Оно простирается на расстояния порядка  $10^{-15}$ — $10^{-22}$  см.

**Гравитационное взаимодействие** — наименее интенсивно и проявляется при взаимодействиях больших масс, радиус его действия не ограничен.

**Тестовые задания**

1. Какой из видов фундаментальных взаимодействий существует только между заряженными структурами?
  - а) гравитационное;
  - б) слабое;
  - в) электромагнитное;
  - г) сильное;
  - д) все они;
  - е) ни одно из них.
2. Какая из следующих величин не является фундаментальной мировой постоянной?
  - а) гравитационная постоянная;
  - б) постоянная Планка;
  - в) скорость света;
  - г) солнечная постоянная;
  - д) постоянная энергии фундаментального взаимодействия;
  - е) заряд электрона.
3. Какой из принципов утвердился в современном естествознании?
  - а) близкодействие;
  - б) дальнодействие;
  - в) оба принципа;
  - г) ни один из них не утвердился;
  - д) среди ответов нет правильного.
4. Какой из видов фундаментальных взаимодействий обладает самым высоким значением энергии взаимодействия?
  - а) гравитационное;
  - б) слабое;
  - в) электромагнитное;
  - г) сильное;
  - д) все они одинаковы.
5. Какое из фундаментальных взаимодействий имеет самую маленькую величину энергии взаимодействия?
  - а) гравитационное;
  - б) слабое;
  - в) электромагнитное;
  - г) сильное;
  - д) все они равны.
6. Как передаются взаимодействия согласно принципу дальнодействия?

- а) между соседними структурами мгновенно;
- б) соседними структурами с конечной скоростью;
- в) любыми структурами мгновенно;
- г) любыми структурами с конечной скоростью;
- д) ни по одному из них.

7. Какой из следующих видов фундаментальных взаимодействий не признает современная наука?

- а) гравитационное;
- б) сильное;
- в) биологическое;
- г) слабое;
- д) электромагнитное.

8. Чем антропный космологический принцип объясняет возникновение жизни?

- а) значениями фундаментальных мировых постоянных, полученными в начале эволюции Вселенной;
- б) возникновением подходящих условий в ходе эволюции Вселенной;
- в) необходимым следствием эволюции Вселенной;
- г) творчеством Вселенского разума;
- д) изменением условий в ходе эволюции.

9. Какое из утверждений более близко к антропному космологическому принципу?

- а) эволюция мира определила значения фундаментальных мировых постоянных;
- б) значения фундаментальных мировых постоянных определили эволюцию мира;
- в) эволюция мира и фундаментальные мировые постоянные не связаны;
- г) мир и фундаментальные мировые постоянные с ходом времени изменяются;
- д) ни одно из них.

10. Как передаются взаимодействия согласно принципу близкодействия?

- а) между соседними структурами мгновенно;
- б) соседними структурами с конечной скоростью;
- в) любыми структурами мгновенно;
- г) любыми структурами с конечной скоростью;
- д) ни по одному из них.

11. Посредством чего происходит взаимодействие между структурами мира?

- а) вещества;
- б) материи;
- в) эфира;
- г) поля;
- д) вакуума.

12. Какой из видов фундаментальных взаимодействий доминирует между нуклонами в ядре?

- а) гравитационное;
- б) слабое;
- в) сильное;
- г) электромагнитное;
- д) все они.

13. Чем можно объяснить взаимное притяжение двух параллельных проводников, по которым протекают постоянные электрические токи в одном направлении?

- а) электростатическим взаимодействием электрических зарядов;
- б) действием магнитного поля одного электрического тока на второй электрический ток;
- в) взаимодействием магнитных полей двух электрических токов;
- г) непосредственным взаимодействием двух электрических токов;
- д) действием электромагнитных волн, излучаемых одним электрическим током, на второй электрический ток.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие виды взаимодействий вы знаете и какие из них играют важнейшую роль в повседневной жизни и почему?

2. Какие взаимодействия известны в микромире?

3. Чем отличаются четыре вида взаимодействия?

4. Что понимается под близкодействием и дальнодействием?

5. Как сказывается конечность скорости света на концепции близкодействия?

6. Что такое пустота или вакуум, как менялись взгляды на него?

7. Каким образом происходят взаимопревращения вещество — поле, вещество — энергия, поле — вакуум?

8. Дайте иерархию движения структур в мегамире.

9. Какие формы движения вам известны?

10. Какие фундаментальные мировые постоянные вам известны и что они выражают?

11. В чем смысл антропного космологического принципа?
12. Почему антропный принцип является предметом острой моды в естествознании XX в.?
13. Возможен ли нуклеосинтез при увеличении постоянной Планка более чем на 25%?
14. В чем заключается идея слабого и сильного антропного принципа?

### Тематика рефератов

1. Характеристика основных физических взаимодействий.
2. Антропный космологический принцип.
3. Вещество, поле, вакуум и их взаимопревращения.
4. Фундаментальные постоянные мироздания.
5. Основные формы движения материи.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Дубнищева, Т. Я.* Концепции современного естествознания, 1997. — 630 с.
3. *Иванов, Б. Н.* Законы физики. — М., 1996. — 366 с.
4. *Карпенков, С. Х.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 271 с.

## Глава 7

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОМИРА

### 7.1. Элементарные частицы

В науке нет широкой столбовой дороги,  
и только тот может достигнуть ее сияющих  
вершин, кто, не страшась усталости,  
карабкается по ее каменистым вершинам.

*К. Маркс*

Для познания окружающего нас мира человеку пришлось пройти увлекательный, но мучительно длинный и трудный путь изучения вещества, начиная от самых сложных его форм и кончая элементарными частицами. Мы рассмотрим этот путь не в прямом, а в обратном направлении. Зная свойства элементарных частиц, нам будет уже сравнительно просто построить из них более сложные объекты: атомные ядра и атомы — и понять их свойства.

Под **элементарными частицами** можно понимать такие микрочастицы, внутреннюю структуру которых на современном уровне развития науки нельзя представить как совокупность других частиц. Во всех наблюдавшихся до сих пор явлениях каждая такая частица ведет себя как единое целое. Элементарные частицы могут превращаться друг в друга. Чтобы объяснить свойства и поведение элементарных частиц, их приходится наделять, кроме массы, электрического заряда и спина, рядом дополнительных, характерных для них величин (квантовых чисел). Как отмечалось выше, известны также четыре вида взаимодействий между элементарными частицами: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Интенсивность взаимодействия принято характеризовать с помощью так называемой константы взаимодействия, которая представляет собой безразмерный параметр, определяющий вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия. Отношение

значений констант дает относительную интенсивность соответствующих взаимодействий.

Все атомы, а значит, и все материальные тела вокруг нас представляют собой сочетания всего лишь трех материальных частиц, обладающих массой: протона, нейтрона и электрона. Четвертая частица, фотон, не имеет массы и является единицей электромагнитного излучения. Протон, электрон и фотон представляют собой устойчивые частицы. Это означает, что их существование не прерывается до тех пор, пока они не принимают участия в столкновениях с другими частицами, угрожающими им аннигиляцией. Распад нейтрона, напротив, может с легкостью произойти в любой момент. Этот процесс, получивший название бета-распада, представляет собой обычный механизм одной из разновидностей радиоактивных явлений. Нейтрино — еще одна частица, не имеющая массы, но характеризующаяся устойчивостью, подобно протону, электрону и фотону.

Частицы приведены в левой части рис. 7.1. Отражение справа представляет собой набор соответствующих античастиц. Кружками обведены стабильные частицы. Масса  $\pi^0$ -мезонов составляет 264,2 (в единицах массы электронов).

	Тип	Масса	Спин
Адроны	Омега	3284	$\frac{3}{2}$
	Кси	2586	$\frac{1}{2}$
	Сигма	2335	$\frac{1}{2}$
	Лямбда	2183	$\frac{1}{2}$
	Нуклон	1837	$\frac{1}{2}$
Мезоны	Каон	966	0
	Пион	273	0
	Мюон	207	$\frac{1}{2}$
Лептоны	Мюонное нейтрино	0	$\frac{1}{2}$
	Электрон	1	$\frac{1}{2}$
	Электронное нейтрино	0	$\frac{1}{2}$
	Фотон	0	1

Рис. 7.1. Таблица элементарных частиц

Элементарные частицы обычно подразделяют на четыре класса. К одному из них относится только одна частица —

**фотон.** Второй класс образуют **лептоны**, третий — **мезоны** и, наконец, четвертый класс — **барионы**. Мезоны и барионы часто объединяют в один класс сильно взаимодействующих частиц, называемых адронами (*греч.* «адрос» — крупный, массивный). Дадим краткую характеристику перечисленных классов частиц.

1. **Фотоны** (кванты электромагнитного поля) участвуют в электромагнитных взаимодействиях, но не обладают сильным, слабым гравитационным взаимодействиями.

2. **Лептоны** получили свое название от греческого слова «лептос», которое означает «легкий». К их числу относятся частицы, не обладающие сильным взаимодействием: мюоны ( $\mu^-$ ,  $\mu^+$ ), электроны ( $e^-$ ,  $e^+$ ), электронные нейтрино ( $\nu_e^-$ ,  $\nu_e^+$ ) и мюонные нейтрино ( $\nu_\mu^-$ ,  $\nu_\mu^+$ ). Все лептоны имеют спин, равный  $1/2$ , и следовательно, являются фермионами. Все лептоны обладают слабым взаимодействием. Те из них, которые имеют электрический заряд (т.е. мюоны и электроны), обладают также электромагнитным взаимодействием.

3. **Мезоны** — сильно взаимодействующие нестабильные частицы, не несущие так называемого барионного заряда. К их числу принадлежит  $\pi$ -мезоны, или пионы ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$ ),  $K$ -мезоны, или каоны ( $K^+$ ,  $K^-$ ,  $K^0$ ), и эта-мезон ( $\eta$ ). Масса  $K$ -мезонов составляет  $\sim 970m_e$  (494 МэВ для заряженных и 498 МэВ для нейтральных  $K$ -мезонов). Время жизни  $K$ -мезонов имеет величину порядка  $10^{-8}$  с. Они распадаются с образованием  $\pi$ -мезонов и лептонов или только лептонов. Масса эта-мезонов равна 549 МэВ ( $1074m_e$ ), время жизни порядка  $10^{-19}$  с. Эта-мезоны распадаются с образованием  $\pi$ -мезонов и  $\gamma$ -фотонов. В отличие от лептонов мезоны обладают не только слабым (и, если они заряжены, электромагнитным), но также и сильным взаимодействием, проявляющимся при взаимодействии их между собой, а также при взаимодействии между мезонами и барионами. Спин всех мезонов равен нулю, так что они являются бозонами.

4. Класс **барионов** объединяет в себе нуклоны ( $p$ ,  $n$ ) и нестабильные частицы с массой, большей массы нуклонов, получившие название гиперонов. Все барионы обладают сильным взаимодействием и, следовательно, активно взаимодействуют с атомными ядрами. Спин всех барионов равен  $1/2$ , так что барионы являются фермионами. За исключением протона, все барионы нестабильны. При распаде барионы наряду с другими частицами обязатель-



но образуют барион. Эта закономерность является одним из проявлений **закона сохранения барионного заряда**.

Кроме перечисленных выше частиц, обнаружено большое число сильно взаимодействующих короткоживущих частиц, которые получили название **резонансов**. Эти частицы представляют собой резонансные состояния, образованные двумя или большим числом элементарных частиц. Время жизни резонансов составляет всего лишь  $\approx 10^{-23} - 10^{-22}$  с.

Элементарные частицы, а также сложные микрочастицы удается наблюдать благодаря тем следам, которые они оставляют при своем прохождении через вещество. Характер следов позволяет судить о знаке заряда частицы, ее энергии, импульсе и т.п. Заряженные частицы вызывают ионизацию молекул на своем пути. Нейтральные частицы следов не оставляют, но они могут обнаружить себя в момент распада на заряженные частицы или в момент столкновения с каким-либо ядром. Следовательно, в конечном счете нейтральные частицы также обнаруживаются по ионизации, вызванной порожденными ими заряженными частицами.

**Частицы и античастицы.** В 1928 г. английскому физику П. Дираку удалось найти для электрона релятивистское квантовомеханическое уравнение, из которого вытекает ряд замечательных следствий. Прежде всего, из этого уравнения естественным образом, без каких-либо дополнительных предположений, получаются спин и числовое значение собственного магнитного момента электрона. Таким образом, выяснилось, что спин представляет собой величину одновременно и квантовую, и релятивистскую. Но этим не исчерпывается значение уравнения Дирака. Оно позволило также предсказать существование античастицы электрона — позитрона. Из уравнения Дирака для полной энергии свободного электрона получаются не только положительные, но и отрицательные значения. Из уравнения следует, что при заданном импульсе частицы  $p$  существуют решения уравнения, соответствующие энергиям

$$E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m_e^2 c^4}.$$

Между наибольшей отрицательной энергией ( $-m_e c^2$ ) и наименьшей положительной энергией ( $+m_e c^2$ ) имеется интервал значений энергии, которые не могут реализоваться. Ширина этого интервала равна  $2m_e c^2$ . Следовательно,

получаются две области собственных значений энергии: одна начинается с  $+m_e c^2$  и простирается до  $+\infty$ , другая начинается с  $-m_e c^2$  и простирается до  $-\infty$ .

Частица с отрицательной энергией должна обладать очень странными свойствами. Переходя в состояния со все меньшей энергией (т.е. с увеличивающейся по модулю отрицательной энергией), она могла бы выделять энергию, скажем, в виде излучения, причем, поскольку  $|E|$  ничем не ограничен, частица с отрицательной энергией могла бы излучать бесконечно большое количество энергии. К аналогичному выводу можно прийти следующим путем: из соотношения  $E = m_e c^2$  вытекает, что у частицы с отрицательной энергией масса будет также отрицательна. Под действием тормозящей силы частица с отрицательной массой должна не замедляться, а ускоряться, совершая над источником тормозящей силы бесконечно большое количество работы. Ввиду этих трудностей следовало, казалось бы, признать, что состояние с отрицательной энергией нужно исключить из рассмотрения как приводящее к абсурдным результатам. Это, однако, противоречило бы некоторым общим принципам квантовой механики. Поэтому Дирак выбрал другой путь. Он выдвинул идею, что переходы электронов в состояния с отрицательной энергией обычно не наблюдаются по той причине, что все имеющиеся уровни с отрицательной энергией уже заняты электронами.

Согласно Дираку, вакуум — такое состояние, в котором все уровни отрицательной энергии заселены электронами, а уровни с положительной энергией свободны. Поскольку заняты все без исключения уровни, лежащие ниже запрещенной полосы, электроны на этих уровнях никак себя не обнаруживают. Если одному из электронов, находящихся на отрицательных уровнях, сообщить энергию  $E \geq 2m_e c^2$ , то этот электрон перейдет в состояние с положительной энергией и будет вести себя обычным образом, как частица с положительной массой и отрицательным зарядом. Эта первая из предсказанных теоретически частиц была названа позитроном. При встрече позитрона с электроном они аннигилируют (исчезают) — электрон переходит с положительного уровня на вакантный отрицательный. Энергия, соответствующая разности этих уровней, выделяется в виде излучения.

Существуют частицы, которые тождественны со своими античастицами (т.е. не имеют античастиц). Такие частицы

называются абсолютно нейтральными. К их числу принадлежат фотон,  $\pi^0$ -мезон и  $\eta$ -мезон. Частицы, тождественные со своими античастицами, не способны к аннигиляции. Это, однако, не означает, что они вообще не могут превращаться в другие частицы.

Если барионам (т.е. нуклонам и гиперонам) приписать барионный заряд (или барионное число)  $B = +1$ , антибарионам — барионный заряд  $B = -1$ , а всем остальным частицам — барионный заряд  $B = 0$ , то для всех процессов, протекающих с участием барионов и антибарионов, будет характерно сохранение барионного заряда, подобно тому как для процессов характерно сохранение электрического заряда. Закон сохранения барионного заряда обуславливает стабильность самого мягкого из барионов — протона. Преобразование всех величин, описывающих физическую систему, при котором все частицы заменяются античастицами (например, электроны протонами, а протоны электронами и т.д.), называется зарядом сопряжения.

**Странные частицы.**  $K$ -мезоны и гипероны были обнаружены в составе космических лучей в начале 1950-х гг. Начиная с 1953 г. их получают на ускорителях. Поведение этих частиц оказалось столь необычным, что они были названы странными. Необычность поведения странных частиц заключалась в том, что рождались они явно за счет сильных взаимодействий с характерным временем порядка  $10^{-23}$  с, а время их жизни оказалось порядка  $10^{-8}$ — $10^{-10}$  с. Последнее обстоятельство указывало на то, что распад частиц осуществляется в результате слабых взаимодействий. Было совершенно непонятно, почему странные частицы живут так долго, что мешает им существовать за счет сильного взаимодействия, в результате которого они возникают. Поскольку и в рождении, и в распаде  $\lambda$ -гиперона участвуют одни и те же частицы ( $\pi$ -мезоны и протон), представлялось удивительным, что скорость (т.е. вероятность) обоих процессов столь различна. Дальнейшие исследования показали, что странные частицы рождаются парами. Это навело на мысль, что сильные взаимодействия не могут играть роли в распаде частиц вследствие того, что для их проявления необходимо присутствие двух странных частиц. По той же причине оказывается запрещенным одиночное рождение странных частиц.

Чтобы объяснить запрет одиночного рождения странных частиц, М. Гелл-Манн и К. Нишиджима ввели в рассмотре-

ние новое квантовое число, суммарное значение которого должно, по их предположению, сохраняться при сильных взаимодействиях. Это квантовое число  $S$  было названо странностью частицы. При слабых взаимодействиях странность может не сохраняться. Поэтому она приписывается только сильно взаимодействующим частицам — мезонам и барионам.

**Нейтрино.** Нейтрино — единственная частица, которая не участвует ни в сильных, ни в электромагнитных взаимодействиях. Исключая гравитационное взаимодействие, в котором участвуют все частицы, нейтрино может принимать участие лишь в слабых взаимодействиях.

Долгое время оставалось неясным, чем отличается нейтрино от антинейтрино. Открытие закона сохранения комбинированной четности дало возможность ответить на этот вопрос: они отличаются спиральностью. Под спиральностью понимается определенное соотношение между направлениями импульса  $P$  и спина  $S$  частицы. Спиральность считается положительной, если спин и импульс имеют одинаковое направление. В этом случае направление движения частицы ( $P$ ) и направление «вращения», соответствующее спину, образуют правый винт. При противоположно направленных спине и импульсе спиральность будет отрицательной (поступательное движение и «вращение» образуют левый винт). Согласно развитой Янгом и Ли, Ландау, а также Саламом теории продольного нейтрино все существующие в природе нейтрино независимо от способа их возникновения всегда бывают полностью продольно поляризованы (т.е. спин их направлен параллельно или антипараллельно импульсу  $P$ ). Нейтрино имеет отрицательную (левую) спиральность, антинейтрино — положительную (правую) спиральность. Таким образом, спиральность — это то, что отличает нейтрино от антинейтрино.

**Систематика элементарных частиц.** Закономерности, наблюдаемые в мире элементарных частиц, могут быть сформулированы в виде законов сохранения. Таких законов накопилось уже довольно много. Некоторые из них, оказываются не точными, а лишь приближенными. Каждый закон сохранения выражает определенную симметрию системы. Законы сохранения импульса  $P$ , момента импульса  $L$  и энергии  $E$  отражают свойства симметрии пространства и времени: сохранение  $E$  есть следствие однородности времени, сохранение  $P$  обусловлено одно-

родностью пространства, а сохранение  $L$  — его изотропностью. Закон сохранения четности связан с симметрией между правым и левым ( $P$ -инвариантность). Симметрия относительно зарядового сопряжения (симметрия частиц и античастиц) приводит к сохранению зарядовой четности ( $C$ -инвариантность). Законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов выражают особую симметрию  $\Phi$ -функции. Наконец, закон сохранения изотопического спина отражает изотропность изотопического пространства. Несоблюдение одного из законов сохранения означает нарушение в данном взаимодействии соответствующего вида симметрии.

**Кварки.** Частиц, называемых элементарными, стало так много, что возникли серьезные сомнения в их элементарности. Каждая из сильно взаимодействующих частиц характеризуется тремя независимыми аддитивными квантовыми числами: зарядом  $Q$ , гиперзарядом  $U$  и барионным зарядом  $B$ . В связи с этим появилась гипотеза о том, что все частицы построены из трех фундаментальных частиц — носителей этих зарядов. В 1964 г. Гелл-Манн и независимо от него швейцарский физик Цвейг выдвинули гипотезу, согласно которой все элементарные частицы построены из трех частиц, названных кварками. Этим частицам приписываются дробные квантовые числа, в частности электрический заряд, равный  $+2/3$ ,  $-1/3$ ,  $+1/3$  соответственно для каждого из трех кварков. Эти кварки обычно обозначаются буквами  $U, D, S$ . Кроме кварков, рассматриваются антикварки ( $u, d, s$ ). Мезоны образуются из пары кварк-антикварк, а барионы — из трех кварков. Каждому кварку приписывается одинаковый магнитный момент  $\mu_{\text{кв}}$ , величина которого из теории не определяется.

В основном цвет кварка (подобно знаку электрического заряда) стал выражать различие в свойстве, определяющем взаимное притяжение и отталкивание кварков. По аналогии с квантами полей различных взаимодействий (фотонами в электромагнитных взаимодействиях,  $\pi$ -мезонами в сильных взаимодействиях и т.д.) были введены частицы — переносчики взаимодействия между кварками. Эти частицы были названы глюонами. Они переносят цвет от одного кварка к другому, в результате чего кварки удерживаются вместе.

Идея кварков оказалось весьма плодотворной. Она позволила не только систематизировать уже известные

частицы, но и предсказать целый ряд новых. Положение, сложившееся в физике элементарных частиц, напоминает положение, создавшееся в физике атома после открытия в 1869 г. Д. И. Менделеевым периодического закона. Хотя сущность этого закона была выяснена только спустя примерно 60 лет, после создания квантовой механики, он позволил систематизировать известные к тому времени химические элементы и, кроме того, привел к предсказанию существования новых элементов и их свойств. Точно так же физики научились систематизировать элементарные частицы, причем разработанная систематика в ряде случаев позволила предсказать существование новых частиц и предвосхитить свойства этих частиц.

В мире элементарных частиц действует правило: **разрешено все, что не запрещают законы сохранения**. Последние играют роль правил запрета, регулирующих взаимопревращения частиц. Прежде всего отметим законы сохранения энергии, импульса и электрического заряда. Например, эти три закона объясняют стабильность электрона. Из сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса покоя продуктов распада должна быть меньше массы покоя распадающейся частицы. Значит, электрон мог бы распадаться только на нейтрино и фотоны. Но эти частицы электрически нейтральны. Вот и получается, что электрону просто некому передать свой электрический заряд; поэтому он стабилен.

## 7.2. Корпускулярно-волновая природа микрообъектов

Электрон так же неисчерпаем,  
как и атом, природа бесконечна.

*В. И. Ленин*

Микромир образуют микрочастицы, которыми являются элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны, фотоны и другие простые частицы), а также сложные частицы, образованные из сравнительно небольшого числа элементарных частиц (молекулы, атомы, ядра атомов и т.п.). Термин «микрочастица» отражает только одну сторону объекта, к которому он применяется. Всякий микрообъект (молекула, атом, электрон, фотон и т.д.) представляет собой образование особого рода, сочетающее в себе свойства

и частицы, и волны. Может быть, правильнее было бы называть его «частицей-волной». Микрообъект не способен воздействовать непосредственно на наши органы чувств — ни видеть, ни осязать его нельзя. Ничего подобного микрообъектам в воспринимаемом нами мире не существует. Микротела не похожи ни на что из того, что нам хоть когда-нибудь приходилось видеть.

Раз поведение атомов так непохоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физiku — всем оно кажется своеобразным и туманным. Даже выдающиеся ученые не понимают его настолько, как им хотелось бы, и это совершенно естественно, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция — все прилагается к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца не поступают. Поэтому, изучая их, приходится прибегать к различного рода абстракциям, напрягать воображение и не пытаться связывать их с нашим непосредственным опытом. В доквантовой физике «понять» означало составить себе наглядный образ объекта или процесса объекта или процесса. Квантовую физику нельзя понять в таком смысле слова. Всякая наглядная модель неизбежно будет действовать по классическим законам и поэтому непригодна для представления квантовых процессов. И самое правильное, что можно сделать, — это отказаться от попыток строить наглядные модели поведения квантовых объектов. Отсутствие наглядности поначалу может вызвать чувство неудовлетворенности, но со временем это чувство проходит и все становится на свои места.

В первое время физики были поражены необычными свойствами тех мельчайших частиц материи, которые они изучали в микромире. Попытки описать, а тем более объяснить свойства микрочастиц с помощью понятий и принципов классической физики потерпели явную неудачу. Поиски новых понятий и методов объяснения в конце концов привели к возникновению новой квантовой механики, в окончательное построение и обоснование которой значительный вклад внесли Э. Шредингер, В. Гейзенберг, М. Борн. В самом начале эта механика была названа волновой в противоположность обычной механике, которая рассматривает свои объекты как состоящие из корпускул, или частиц. В дальнейшем для механики микрообъектов утвердилось название квантовой механики.

Для облегчения понимания корпускулярно-волновой природы микрочастиц полезно рассмотреть такую же двойственную природу повреждения электромагнитных волн, в частности света. В результате углубления представлений о природе света выяснилось, что в оптических явлениях обнаруживается своеобразный дуализм. Наряду с такими свойствами света, которые самым непосредственным образом свидетельствуют о его волновой природе (интерференция, дифракция), имеются и другие свойства, столь же непосредственно обнаруживающие его корпускулярную природу (фотоэффект, явление Комптона). Рассмотрим их.

Фотоэлектрическим эффектом, или фотоэффектом, называется испускание электронов веществом под действием света. В 1905 г. А. Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет поглощается такими же порциями (квантами) энергии  $E = h\nu$ , какими он, по предположению Планка, испускается. По мысли Эйнштейна, энергия полученная электроном, доставляется ему в виде кванта  $h\nu$ , который усваивается им целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода, т.е. наименьшей энергии, необходимой электрону, чтобы удалиться из тела в вакуум, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии образует кинетическую энергию  $E_k$  электрона, покинувшего ве-

щество. В этом случае должно выполняться соотношение  $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A$ , которое называется формулой Эйнштейна.

Отсюда вытекает, что в случае, когда работа выхода  $A$  превышает энергию кванта  $h\nu$ , — электроны не могут покинуть металл. Следовательно, для возникновения фотоэффекта необходимо, чтобы энергия кванта была больше работы выхода. Частота  $\nu_0$ , ниже которой не наблюдается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. Эйнштейн выдвинул гипотезу, что свет распространяется в виде дискретных частиц, названных световыми квантами. Впоследствии эти частицы получили название фотонов. Энергия фотона определяется его частотой  $E = h\nu$ , масса покоя фотона равна нулю и фотон всегда движется со скоростью  $c$ . Сказанное означает, что фотон представляет собой частицу особого рода, отличную от таких частиц, как электрон, протон и т.п., которые могут существовать, двигаясь со скоростями, меньшими  $c$ , и даже покоясь.



Поток фотонов, падающих перпендикулярно на поглощающую свет поверхность, оказывает на нее давление. Если плотность фотонов равна  $n$ , то давление света равно  $P = nE = nh\nu$ , так как каждый фотон сообщает стенке импульс  $P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$ .

Особенно отчетливо проявляются корпускулярные свойства света в явлении, которое получило название эффекта Комптона. В 1923 г. А. Комптон, исследуя рассеяние рентгеновских лучей различными веществами, обнаружил, что в рассеянных лучах наряду с излучением первоначальной длины волны содержатся также лучи большей длины волны. Разность между этими длинами волн оказалась зависящей только от угла, образуемого направлением рассеянного излучения с направлением первичного пучка. От первоначальной длины волны и от природы рассеивающего вещества разность длин волн не зависит. Все особенности эффекта Комптона можно объяснить, рассматривая рассеяние как процесс упругого столкновения рентгеновских фотонов с практически свободными электронами. Свободными можно считать слабее всего связанные с атомами электроны, энергия связи которых значительно меньше той энергии, которую фотон может передать электрону при соударении.

Таким образом, выше рассмотрен ряд явлений, в которых свет ведет себя как поток частиц (фотонов). Однако не надо забывать, что такие явления, как интерференция и дифракция света, могут быть объяснены только на основе волновых представлений. Свету присущ корпускулярно-волновой дуализм (двойственность): в одних явлениях проявляется его волновая природа и он ведет себя как электромагнитная волна, в других явлениях проявляется корпускулярная природа света и он ведет себя как поток фотонов.

Новый радикальный шаг в развитии физики был связан с распространением корпускулярно-волнового дуализма на мельчайшие частицы вещества — электроны, протоны, нейтроны и другие микрообъекты. В классической физике вещество всегда считалось состоящим из частиц, и потому волновые свойства казались явно чуждыми ему. Тем удивительнее оказалось открытие о наличии у микрочастиц волновых свойств, первую гипотезу о существовании которых высказал в 1924 г. известный французский ученый Луи де Бройль. «В оптике, — писал он, — в течение столетия слиш-

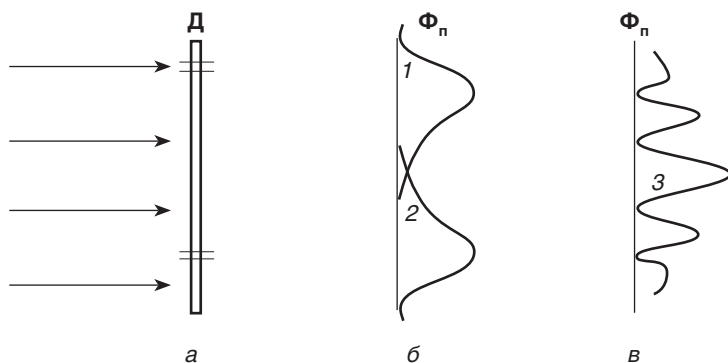
ком пренебрегали корпускулярным способом рассмотрения по сравнению с волновым; не делалась ли в теории вещества обратная ошибка?». Допуская, что частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые, де Бройль перенес правила перехода от корпускулярной картины света к волновой и на частицы. По идее де Бройля, движение электрона или какой-либо другой частицы связано с волновым процессом, с частотой  $\nu = E/h$ .

Гипотеза де Бройля была вскоре подтверждена экспериментально в 1927 г. американскими физиками К. Дэвиссоном и Л. Джермером, впервые обнаружившими явление дифракции электронов на кристалле никеля, т.е. типично волновую картину. Формула  $\lambda = h/P$  называется формулой де Бройля и является одним из соотношений, лежащих в основе современной физики. Для частицы с массой  $m$ , движущейся с малой скоростью  $v$ ,  $\lambda = h/v$ .

Сочетая в себе свойства частицы и волны, микрочастица не ведет себя ни как волны, ни как частицы. Отличие микрочастицы от волны заключается в том, что она всегда обнаруживается как неделимое целое. Никто никогда не наблюдал, в частности, пол-электрона. В то же время волну можно разделить на части (например, направив световую волну на полупрозрачное зеркало) и воспринимать затем каждую часть в отдельности. А отличие микрочастицы от привычной макрочастицы в том, что она не обладает одновременно определенными значениями координаты и импульса, вследствие чего понятие траектории применительно к микрочастице утрачивает смысл.

Своеобразие свойств микрочастиц отчетливее всего обнаруживается в следующем мысленном эксперименте. Достоверность наблюдаемого в мысленном эксперименте эффекта вытекает из наблюдений, полученных в ряде реальных экспериментов. Направим на преграду с двумя узкими щелями параллельный пучок моноэнергетических (т.е. обладающих одинаковой кинетической энергией) электронов. За преградой поставим фотопластинку. Вначале закроем вторую щель и произведем экспонирование в течение определенного времени. Почернение на обработанной фотопластинке будет характеризоваться кривой 1 на рис. 7.2, б. Вторую фотопластинку подвергнем экспозиции в течение того же времени, закрыв первую щель. Характер почернения передается кривой 2 на рис. 7.2, б. Наконец, откроем обе щели и подвергнем экспонированию в течение того же времени третью пластин-

ку. Картина почернения, получающаяся в последнем случае, изображена на рис. 7.2, в. Эта картина отнюдь не эквивалентна положению первых двух картин. Она оказывается аналогичной картине, получающейся при интерференции двух когерентных световых волн. Характер картины свидетельствует о том, что на движение каждого электрона оказывают влияние оба отверстия. Такой вывод несовместим с представлением о траекториях. Если бы электрон в каждый момент времени находился в определенной точке пространства и двигался по траектории, он проходил бы через определенное отверстие — первое или второе. Явление же дифракции доказывает, что в прохождении каждого электрона участвуют оба отверстия — и первое, и второе. Не следует, однако, представлять дело так, что какая-то часть электрона проходит через одно отверстие, а другая часть — через второе. Мы уже отмечали, что электрон, как и другие микрочастицы, всегда обнаруживается как целое, с присущей ему массой, зарядом и другими характерными для него величинами.



**Рис. 7.2. Дифракция микрочастиц на преграде с двумя щелями:**

1 — при закрытой второй щели; 2 — при закрытой первой щели; 3 — когда обе щели открыты, что никак не соответствует простому наложению картин 1 и 2

Таким образом, электрон, протон и атомное ядро представляют собой частицы с весьма своеобразными свойствами. Обычный шарик, даже и очень малых размеров (макроскопическая частица), не может служить прообразом микрочастицы. С уменьшением размеров начинают прояв-

ляться качественно новые свойства, не обнаруживающиеся у микрочастиц. Однако при определенных условиях понятие траектории оказывается приближенно применимым к движению микрочастиц, подобно тому, как оказывается справедливым закон прямолинейного распространения света. В формуле де Бройля нет ничего специфического для электрона как определенной частицы. Волновые свойства должны быть присущи любой частице вещества, имеющей массу  $m$  и скорость  $v$ . Убедительное доказательство справедливости формулы де Бройля и наличия волновых свойств у частиц было получено в опытах по дифракции нейтронов на кристаллах (см. рис. 7.2, б). В ряде случаев с помощью дифракции нейтронов строение веществ можно исследовать успешнее, чем с помощью рентгеновских лучей или электронов.

Вторым независимым от формулы де Бройля соотношением, углубляющим представление о двойственной корпускулярно-волновой природе вещества, является перенесенная на эти частицы связь между полной энергией свободной частицы  $E$  и частотой  $\nu$  волн де Бройля:  $E = h\nu$ . Волны де Бройля, связанные с движущимися частицами вещества, имеют специфическую квантовую природу, не имеющую аналогии в классической физике. Для понимания физического смысла волн де Бройля существенную помощь могут оказать рассмотренные взаимоотношения между корпускулярными и волновыми свойствами света. Вопрос о природе волн, связанных с частицами вещества, можно сформулировать как вопрос о физическом смысле амплитуды этих волн. Вместо амплитуды  $A$  удобнее рассматривать интенсивность волны, пропорциональную квадрату модуля амплитуды  $|A|^2$ .

Из опытов по дифракции электронов следует, что в этих экспериментах обнаруживается неодинаковое распределение пучков электронов. С волновой точки зрения наличие максимумов числа электронов в некоторых направлениях означает, что направления соответствуют наибольшей интенсивности волн де Бройля. Другими словами, интенсивность волн в данной точке пространства определяет число электронов, попавших в эту точку за 1 с. Это послужило основанием для своеобразного статистического, вероятностного истолкования волн де Бройля. Квадрат модуля амплитуды волн де Бройля в заданной точке является мерой вероятности того, что частица обнаруживается в этой точке.

Идеи де Бройля о волновых свойствах микрообъектов были весьма плодотворны, именно на их основе был сформулирован основной закон движения микрочастиц. Его нашел в 1926 г. швейцарский физик Э. Шредингер:

$$i\hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\hbar^2}{2m} \Delta \varphi + V(x, y, z, t) \varphi.$$

В этом уравнении  $V(x, y, z, t)$  — потенциальная энергия;  $m$  — масса микрочастицы;  $\Delta$  — сумма вторых производных по пространственным координатам;  $\hbar$  — постоянная Планка,  $i = \sqrt{-1}$ .

### 7.3. Концепция дополнительности

Мы — люди, и наш удел —  
познавать таинственные новые  
миры и вторгаться в них.

*Б. Шоу*

Изложенное приводит к выводу о том, что наличие волновых свойств у движущихся частиц, обладающих массой покоя, представляет универсальное явление, не связанное с какой-либо спецификой движущейся частицы. В силу такой кажущейся противоречивости корпускулярных и волновых свойств датский физик Нильс Бор выдвинул принцип дополнительности для квантово-механического описания микрообъектов, согласно которому корпускулярная картина такого описания должна быть дополнена альтернативным волновым описанием. Действительно, в одних экспериментах микрочастицы, например электроны, ведут себя как типичные корпускулы, в других — как волновые структуры. Таким образом, дуализм микрообъектов, заключающийся в объединении в одном микрообъекте одновременно волновых и корпускулярных свойств, представляет собой фундаментальную характеристику объектов микромира. Опираясь именно на эту характеристику, мы можем понять и объяснить другие особенности микромира.

Концепция целостного описания системы «объект — условия его познания» нашла свое отражение в **принципе дополнительности** Н. Бора, согласно которому вся информация о микрообъектах может быть получена с помощью только макропри-

боров, работающих в определенных диапазонах, позволяющих довести эту информацию в конечном итоге до органов чувств познающих субъектов. Макроприборы подчиняются законам классической физики и должны переводить информацию о явлениях в микромире на язык понятий классической физики. Следовательно, любое явление в микромире не может быть проанализировано как само по себе отдельно взятое, а обязательно должно включать в себя взаимодействие с классическим макроскопическим прибором. С помощью конкретного макроскопического прибора можно исследовать либо корпускулярные свойства микрообъектов, либо волновые, но не те и другие одновременно. Обе стороны предмета должны рассматриваться как дополнительные друг к другу.

Таким образом, принцип дополнительности позволяет изучать явления и структуры микромира с помощью нескольких независимых параллельных исследовательских подходов. Количественное выражение этого принципа находит в форме соотношения неопределенности Гейзенберга, которое фиксирует границы применимости к квантовым объектам кинематических и динамических переменных, заимствованных из классической физики. Развивая свои мысли о принципе дополнительности, Бор отметил, что он может быть применен как общеметодологический принцип при анализе процессов макромира и даже процессов социокультурной динамики.

#### **7.4. Вероятностный характер законов микромира. Концепции неопределенности и причинности**

Как прекрасно почувствовать единство  
целого комплекса явлений, которые при  
непосредственном восприятии казались  
разрозненными.

*А. Эйнштейн*

Принципиальное отличие квантовой механики от классической состоит также в том, что ее предсказания всегда имеют вероятностный характер. Чтобы описать распределение вероятности нахождения частицы в данный момент времени в некоторой области пространства, введем некоторую функцию  $\Phi(x, y, z, t)$ , называемую волновой функцией. Величиной  $|\Phi|^2$  определяется интенсивность волн де Бройля. Такая интерпретация волновой функции  $\Phi$  объясняет,

почему волны де Бройля иногда называют «волнами вероятности». Волновая функция  $\psi$  является основной характеристикой состояния микрообъектов (элементарных частиц, атомов, молекул). С ее помощью в квантовой механике могут быть вычислены средние значения физических величин, которые характеризуют данный объект, находящийся в состоянии, описываемом волновой функцией  $\psi$ .

Двойственная корпускулярно-волновая природа частиц, изучаемых в квантовой механике, статистический смысл  $\psi$ -функции, заданием которой определяется положение частицы в пространстве, приводят к весьма важному вопросу о границе применимости понятий классической физики в микромире.

В квантовой механике оказывается невозможным одновременно характеризовать объект микромира его координатами (положением в пространстве —  $x$ ) и импульсом —  $P_x$  (в классическом смысле этих понятий). Соотношение  $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq h$ ;  $\Delta y \cdot \Delta P_y \geq h$ ;  $\Delta z \cdot \Delta P_z \geq h$  называется соотношением неопределенности для величин  $x$  и  $P_x$ . Это соотношение открыл В. Гейзенберг в 1927 г. (рис. 7.3).

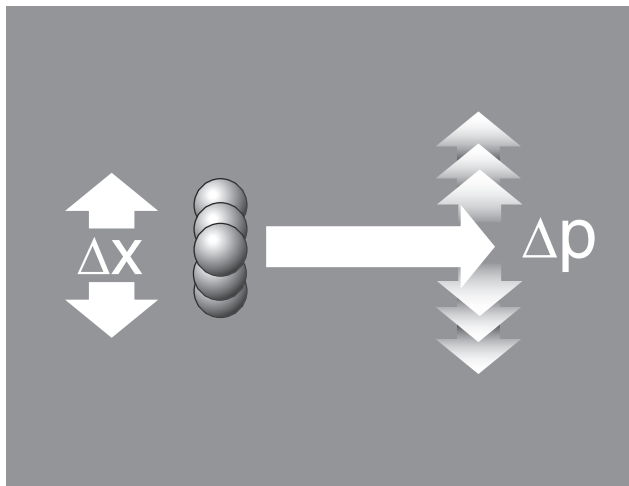


Рис. 7.3. К соотношению неопределенностей

Утверждение о том, что произведение неопределенностей значений двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка  $h$ , называется **принципом неопределенности Гейзенберга**. Со-

отношение неопределенности указывает, в какой мере можно пользоваться понятиями классической механики применительно к микрочастицам, в частности с какой степенью точности можно говорить о траекториях микрочастиц.

Соотношение неопределенности является одним из фундаментальных положений квантовой механики. Из одного этого соотношения достаточно, чтобы получить ряд важных результатов. В частности, оно позволяет объяснить тот факт, что электрон не падает на ядро атома, а также оценить размеры простейшего атома и минимальную возможную энергию электрона в таком атоме. Соотношения неопределенностей являются следствием объективно существующей двойственности частиц микромира — наличия у них корпускулярных и волновых свойств. Эти соотношения свидетельствуют об объективно существующих ограничениях в возможности описания поведения микрообъектов с помощью классических понятий координат и импульсов. В ряде случаев описывать движения микрообъекта так, как это делается в классической механике — с помощью задания в каждый момент времени его координат и импульса, не имеет смысла, ибо сами эти понятия одновременно не могут быть применены к микрообъекту.

В квантовой механике само понятие о состоянии системы приобретает иной смысл, чем в классической физике, — для определения этого состояния нужен иной подход. Максимально точным заданием состояния микрообъекта в квантовой механике является задание его волновой функции  $\Phi$ , которая удовлетворяет некоторому дифференциальному уравнению, содержащему первую производную волновой функции  $\Phi$  по времени. Это значит, что задание волновой функции  $\Phi$  для момента времени  $t_0$  определяет ее значение для момента времени большего  $t_0$ , т.е.  $t > t_0$ . Другими словами, в квантовой механике в соответствии с требованием принципа причинности состояние микрообъекта, определенное в некоторый момент времени  $t_0$ , однозначно предопределяет его дальнейшее состояние. К микрообъектам нельзя применять принцип причинности в форме, заимствованной из классической механики и основанной на применении понятий координат и импульсов, ибо особая природа микрообъектов этого не допускает. Принцип причинности здесь имеет вероятностный характер.

Вероятностное (статистическое) истолкование волн де Бройля и соотношения неопределенностей указывают,



что уравнение движения в квантовой механике должно быть таким, чтобы оно позволяло объяснить наблюдаемые на опыте волновые свойства частиц. Поскольку положение частицы в пространстве в данный момент времени определяется в квантовой механике заданием волновой функции  $\Phi(x, y, z, t)$ , точнее, величиной  $|\Phi|^2$ , определяющей лишь вероятность нахождения частицы в точке  $x, y, z$  в момент времени  $t$ , основное уравнение квантовой механики должно быть уравнением относительно функции  $\Phi(x, y, z, t)$ . Далее, это уравнение должно быть волновым уравнением, ибо из него должны получить свое объяснение эксперименты по дифракции микрочастиц, указывающие на их волновую природу.

Основное уравнение нерелятивистской (при скоростях частиц значительно меньших скорости света) квантовой механики было найдено в 1926 г. Э. Шредингером. Как и уравнения движения Ньютона, лежащие в основе классической физики и поэтому не выводимые, уравнение Шредингера постулируется. Справедливость уравнения Шредингера доказывается тем, что выводы квантовой физики, полученные с помощью этого уравнения в атомной и ядерной физике, находятся в хорошем согласии с опытом. Значение уравнения Шредингера заключается не только в том, что его решение дает соответствующее опыту статистическое распределение частиц. Оно заключается еще в том, что из уравнения Шредингера совместно с условиями, налагаемыми на волновую функцию, непосредственно вытекают правила квантования энергии. Важнейший философский вывод из квантовой механики заключается в принципиальной неопределенности результатов измерения и, следовательно, невозможности точного предвидения будущего.

## 7.5. Электронная оболочка атома

Если человек не понимает проблемы, он пишет много формул, а когда поймет в чем дело, их остается в лучшем случае две.

*Н. Бор*

В начале XX в. Э. Резерфорд в результате опытов по облучению тонкой фольги  $\alpha$ -частицами определил структуру атома. Он показал, что атом имеет планетарную модель, т.е.

состоит из плотного положительного заряженного ядра, вокруг которого обращается рыхлая электронная оболочка. В целом атом является электронейтральной элементарной структурой химического элемента. Физический смысл порядкового номера 2 элемента в периодической системе элементов был установлен в ядерной модели атома Резерфорда.  $Z$  совпадает с числом положительных элементарных зарядов в ядре, закономерно возрастающих на единицу при переходе от предыдущего элемента к последующему.

В 1925 г. В. Паули установил квантово-механический закон, называемый **принципом Паули**, или **принципом исключения**. В своей простейшей формулировке он гласит: в любом атоме не может быть двух электронов, находящихся в двух одинаковых стационарных состояниях, определяемых набором четырех квантовых чисел: главного  $n$ , орбитального  $l$ , магнитного  $m$  и спинowego  $m_s$ .

Применительно к системе электронов в атоме принцип Паули можно записать следующим образом:  $Z(n, l, m, m_s) = 0$  или 1, где  $Z(n, l, m, m_s)$  есть число электронов, находящихся в состоянии, описываемом набором квантовых чисел  $n, l, m, m_s$ . Пользуясь принципом Паули, можно найти максимальное число электронов в атоме, имеющих заданные значения трех  $(n, l, m)$ , двух  $(n, l)$  и одного  $n$  квантовых чисел. Принцип Паули сыграл выдающуюся роль в развитии современной атомной и ядерной физики. Так, например, удалось теоретически обосновать периодическую систему элементов Д.И. Менделеева.

Химические свойства элементов и ряд их физических свойств объясняются поведением внешних так называемых валентных электронов в атомах. Поэтому периодичность свойств химических элементов должна быть связана с определенной периодичностью в расположении электронов в атомах различных элементов. Теория периодической системы основывается на следующих положениях:

а) порядковый номер химического элемента равен общему числу электронов в атоме данного элемента;

б) состояние электронов в атоме определяется набором их квантовых чисел  $n, l, m$  и  $m_s$ . Распределение электронов в атоме по энергетическим состояниям должно удовлетворять принципу минимума потенциальной энергии: с возрастанием числа электронов каждый следующий электрон должен занять возможное энергетическое состояние с наименьшей энергией;

в) заполнение электронами энергетических состояний в атоме должно происходить в соответствии с принципом Паули.

Электроны в атоме, занимающие совокупность состояний с одинаковым значением главного квантового числа  $n$ , образуют электронную оболочку, или электронный слой. В зависимости от значений  $n$  различают следующие оболочки:  $K$  при  $n = 1$ ,  $L$  при  $n = 2$ ,  $M$  при  $n = 3$ ,  $N$  при  $n = 4$ ,  $O$  при  $n = 5$  и т.д. Максимальное число электронов, которые могут находиться в оболочках, согласно принципу Паули: в  $K$ -оболочке — 2 электрона, в оболочках  $L$ ,  $M$ ,  $N$  и  $O$  соответственно 8, 18, 32 и 50 электронов. В каждой из оболочек электроны распределяются по подгруппам или подоболочкам, соответствующим определенному значению орбитального квантового числа.

В атомной физике принято обозначать электронное состояние в атоме символом  $n1$ , указывающим значение двух квантовых чисел. Электроны, находящиеся в состояниях, характеризующихся одинаковыми квантовыми числами  $n$  и  $l$ , называются эквивалентными. Число 2 эквивалентных электронов указывается показателем степени в символе  $n1^2$ . Если электроны находятся в некоторых состояниях с определенными значениями квантовых чисел  $n$  и  $l$ , то считается заданной так называемая электронная конфигурация. Например, основное состояние атома кислорода можно выразить следующей символической формулой:  $1s^2, 2s^2, 2p^4$ . Она показывает, что два электрона находятся в состояниях с  $n = 1$  и  $l = 0$ , два электрона имеют квантовые числа  $n = 2$  и  $l = 0$  и четыре электрона занимают состояния с  $n = 2$  и  $l = 1$ .

Порядок заполнения электронных состояний в оболочках атомов, а в пределах одной оболочки — в подгруппах (подоболочках) должен соответствовать последовательности расположения энергетических уровней с данными  $n$  и  $l$ . Сначала заполняются состояния с наименьшей возможной энергией, а затем состояния со все более высокой энергией. Для легких атомов этот порядок соответствует тому, что сначала заполняется оболочка с меньшим  $n$  и лишь затем должна заполняться электронами следующая оболочка. В пределах одной оболочки сначала заполняются состояния с  $l = 0$ , а затем состояния с большими  $l$  вплоть до  $l = n - 1$ . Взаимодействие между электронами приводит к тому, что для достаточно больших главных квантовых чисел  $n$  состо-

яния с большим  $n$  и малым  $l$  могут иметь меньшую энергию, т.е. быть энергетически более выгодными, чем состояния с меньшим  $n$ , но с большим  $l$ . Из изложенного следует, что периодичность химических свойств элементов объясняется повторяемостью электронных конфигураций во внешних электронных подгруппах у атомов родственных элементов.

Исследования спектров излучения разряженных газов (т.е. спектров излучения отдельных атомов) показали, что каждому газу присущ вполне определенный линейчатый спектр, состоящий из отдельных спектральных линий или групп близко расположенных линий. Самым изученным является спектр наиболее простого атома — атома водорода. Спектр водорода может быть описан формулой, называ-

емой обобщенной формулой Бальмера:  $\lambda = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , где

$R$  — постоянная Ридберга (см. табл. 6.2),  $m$  имеет в каждой данной серии постоянное значение  $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  (определяет серию),  $n$  принимает целочисленные значения, начиная с  $m + 1$  (определяет отдельные линии этой серии). Исследование более сложных спектров — спектров паров щелочных металлов (например, Li, Na, K) — показало, что они представляются набором незакономерно расположенных линий. Приведенные сериальные формулы подобраны эмпирически и долгое время не имели теоретического обоснования, хотя и были подтверждены экспериментально с очень большой точностью. Приведенный вид сериальных формул, удивительная повторяемость в них целых чисел, универсальность постоянной Ридберга свидетельствуют о глубоком физическом смысле найденных закономерностей, вскрыть который в рамках классической физики оказалось невозможным.

Первая попытка построения качественно новой — квантовой — теории атома была предпринята в 1913 г. датским физиком Нильсом Бором. Он поставил перед собой цель связать в единое целое эмпирические закономерности линейчатых спектров, планетарную модель атома Резерфорда и квантовый характер излучения и поглощения света. В основу своей теории Бор положил два постулата.

**Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний):** в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергию. Стационарным состояниям атома соответствуют

стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн. В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные квантованные значения момента импульса, удовлетворяющие условию  $mvr_m = n\hbar$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), где  $m$  — масса электрона,  $v$  — скорость по  $n$ -й орбите радиуса  $r_n$ ,  $\hbar = h/2\pi$ .

**Второй постулат Бора (правило частот):** при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) квант излучения с энергией  $h\nu = E_n - E_m$ , равной разности энергий соответствующих стационарных состояний [( $E_n$  и  $E_m$  — соответственно энергии стационарных состояний атома до и после излучения (поглощения)]. При  $E_m < E_n$  происходит излучение кванта (переход атома в состояние с большей энергией, т.е. переход электрона на более удаленную от ядра орбиту). Набор возможных дискретных частот  $\nu = (E_n - E_m)/h$  квантовых переходов и определяет линейчатый спектр атома.

Квантовая механика позволила объяснить вопрос об излучении спектральных линий атомом, находящимся в возбужденном состоянии, а также процессы поглощения излучения, которое падает на атом, в полном согласии с опытом. Предположим, что электрон находится в некотором энергетическом состоянии, характеризуемом главным квантовым числом  $n$ . Вероятность нахождения электрона в элементе объема  $dV$  внутри атома выразится как  $|\varphi_n|^2 dV$ . Было показано, что в квантовом состоянии, характеризуемом главным квантовым числом  $n$ , вероятность местоположения электрона в атоме не зависит от времени, не изменяется с течением времени. Электрон в таком состоянии не будет совершать колебаний и излучать энергию. Его энергия  $E_n$  не будет изменяться. Энергетическое состояние электрона, характеризуемое определенной энергией  $E_n$ , является стационарным. Находясь в этом состоянии, электрон не излучает энергию. Это есть объяснение первого постулата Н. Бора о наличии у атома стационарных состояний, находящихся в которых электроны атома не излучают энергию. С точки зрения квантовой механики стационарное состояние атома должно сохраняться как угодно долго, если нет причин, вызывающих изменение энергии атома. Однако опыт показывает, что атом, находящийся в возбужденном энергетическом состоянии, сам собой переходит в нор-

мальное, невозбужденное состояние, излучая свет. Такое излучение, происходящее в отсутствие внешних причин, изменяющих энергию атома, называется самопроизвольным, или спонтанным, излучением. В квантовой физике переход атома из одного состояния в другое, связанный с излучением или поглощением кванта  $E = h\nu$ , описывается с помощью общего уравнения Шредингера, в котором волновая функция электрона зависит не только от координат, но и от времени,  $\Psi = \Psi(x, y, z, t)$ .

Квантовая механика позволила преодолеть непоследовательность теории Бора. Оказалось, что уравнение Шредингера составлено так удачно, что его решение для электронов в атоме позволяет без всяких постулатов и правил отбора получить все объяснения данных наблюдений. Переход атома из одного состояния в другое означает переход между этими состояниями его оптического электрона, описываемого волновой функцией  $\Psi$ . Естественно, что сам спектр излучения состоит из отдельных линий, соответствующих переходам между дискретными уровнями энергии в атоме, и охватывает весьма широкий диапазон частот — область инфракрасного излучения, видимую область, ультрафиолетовую часть спектра и даже рентгеновский линейчатый спектр (в случае тяжелых атомов). Атомы разных химических элементов обладают различными спектрами излучения. На этом основан спектральный анализ химического состава таких небесных тел, как Солнце и звезды.

Таким образом, в области микромира согласно современной естественно-научной картине мира на смену «волнам материи» пришли «волны вероятности». Вероятностная трактовка волновой функции отражает присущие микрообъектам элементы случайного в их поведении. Необходимой оказывается лишь вероятность поведения микрообъекта. Это означает, что предсказания в квантовой физике имеют, вообще говоря, вероятностный характер и, следовательно, физика микрообъектов является принципиально статистической теорией. Случаен факт обнаружения электрона в том или ином месте около ядра; вероятность же его обнаружения в данном месте вполне определена, т.е. определяется формой и размерами соответствующего «электронного облака».

Вероятность лежит в самой основе квантовой механики и вообще квантовой физики. Академик В. А. Фок писал: «В квантовой механике понятие вероятности есть понятие

первичное, оно играет там фундаментальную роль». «Статистические методы в физике, — писал Борн, — по мере развития науки распространялись все больше и больше, и сегодня можно сказать, что современная физика полностью опирается на статистическую основу... Это является событием в истории человеческого мышления, значение которого выходит за пределы самой науки».

Вероятностный подход к описанию явлений микромира совершенно не означает, что движение микрочастиц непредсказуемо и произвольно. Зная волновую функцию, можно определить вероятность появления частицы в любом месте и в любое время. На смену жестко детерминированным законам классической физики, справедливым в макромире, пришли вероятностные законы, работающие в микромире. Они являются отражением специфики микрообъектов, проявлением новых свойств материи на уровне ее мельчайших структурных единиц. Принцип соответствия работает и здесь — при переходе к макрообъектам квантово-механический аспект движения становится неощутимым из-за очень низкого значения постоянной Планка  $\hbar$ . Динамические законы есть предельный случай более общих вероятностных закономерностей. Последние не являются свидетельством неполноты нашего знания, а отражают глубокое понимание свойств материи на новом качественном уровне.

## Выводы

1. Обнаружено, что элементарные частицы могут взаимно превращаться, т.е. не являются «последними кирпичиками» мироздания. Стало ясно, что число элементарных частиц не должно быть особенно большим.

2. В механике микромира уравнение Шредингера для волновой функции играет ту же роль, что и уравнение Ньютона в классической механике. В уравнении, объясняющем поведение электрона в атоме, содержится волновая функция, квадрат модуля которой определяет положение электрона в данной точке в каждый момент времени. Главным открытием квантовой механики является вероятностный характер законов микромира.

3. Частицам вещества в микромире присущ корпускулярно-волновой дуализм: в одних явлениях они проявляют волновые свойства, а в других — корпускулярную природу.

ду. Поэтому для изучения свойств микромира применяют принцип дополнительности, введенный Н. Бором в 1927 г.

4. Фундаментальным в квантовой теории является принцип неопределенности, определяющий границы применимости классических представлений при описании свойств микромира. Невозможно с одинаковой точностью определить и положение, и импульс микрочастиц.

5. В результате экспериментов по рассеянию альфа-частиц Резерфордом была предложена планетарная модель строения атома. При заполнении электронами орбит в атоме соблюдается принцип Паули: два электрона не могут находиться в одном и том же состоянии.

6. Важнейший философский вывод из квантовой механики заключается в принципиальной неопределенности результатов измерений и, следовательно, невозможности точного предвидения будущего.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

На случаи наталкиваются именно  
те ученые, которые делают все,  
чтобы на них натолкнуться.

*К. Тимирязев*

### План семинара

1. Характеристика элементарных частиц и их классификация.
2. Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц. Принцип дополнительности.
3. Элементы квантовой механики. Принцип неопределенности.
4. Планетарная модель атома. Электронная оболочка атома.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Адроны** (*греч.* «adros» — сильный, крупный, массивный) — общее название элементарных частиц, подверженных сильному взаимодействию. К ним относятся мезоны и барионы.



**Антивещество** — вещество, образованное из античастиц.

**Античастица** (греч. «anti» + частица) — элементарная частица, масса и спин которой точно равны массе и спину данной частицы, а электрический заряд, магнитный момент и другие соответствующие характеристики равны по величине, но противоположны по знаку. Например, позитрон является античастицей электрона, антипротон — протона, антинейтрон — нейтрона.

**Атом** (греч. «atomos» — неделимый) — мельчайшая частица химического элемента, носитель его свойств.

**Атомный номер** — номер химического элемента в таблице Менделеева.

**Вакуум** — наинизшее энергетическое состояние поля, при котором число квантов равно нулю, но происходит взаимопревращение виртуальных частиц.

**Валентность** (лат. «valentia» — сила) — способность атома к образованию химических связей, определяемая количеством электронов во внешней орбите атома.

**Виртуальная частица** (лат. «virtualis» — возможный) — элементарная частица в промежуточных (ненаблюдаемых) состояниях, существованием которой в квантовой механике объясняют взаимодействия и превращения частиц.

**Гравитон** — гипотетическая частица гравитационного поля, движущаяся со скоростью света и не имеющая массы покоя (введена для объяснения гравитационного взаимодействия).

**Дискретный** (лат. «discretus» — отдельный, прерывистый) — прерывный, состоящий из отдельных частей.

**Квант** — неделимая порция какой-либо величины (энергии и т.п.).

**Корпускулярно-волновой дуализм** — двойственная природа мельчайших частиц вещества, состоящая в наличии у них не только корпускулярных, но и волновых свойств.

**Лептоны** (греч. «leptos» — легкий) — элементарные частицы, обладающие слабым взаимодействием.

**Мезоны** — сильно взаимодействующие частицы, не несущие так называемого барионного заряда.

**Барионы** — объединяют в себе нуклоны ( $p$ ,  $n$ ), нестабильные частицы с массой, большей массы нуклонов, обладающие сильным взаимодействием.

**Стохастический** — случайный.

**Странные частицы** —  $K$ -мезоны и гипероны, результат сильных взаимодействий.

**Фотон** — элементарный квант света.

### Задачи и упражнения

1. Сколько квантов с различной энергией может испустить атом водорода, если электрон находится на третьей орбите?

*Ответ:* 3 кванта: при переходе с третьей орбиты на вторую, со второй на первую и с третьей на первую орбиту.

2. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Как при этом изменилась энергия атома? Почему?

*Ответ:* Энергия системы «электрон-ядро» уменьшилась.

3. Чем отличается атом, находящийся в стационарном состоянии, от атома в возбужденном состоянии?

*Ответ:* Отличается расположением электронов в оболочке атома: в невозбужденном атоме электроны находятся на наименьшем расстоянии от ядра; их уровни энергии являются минимальными.

4. Как изменилась энергия атома водорода, если электрон в атоме перешел с первой орбиты на третью, а потом обратно?

*Ответ:* Изменение энергии равно нулю.

5. На какие стационарные орбиты переходят электроны в атоме водорода при испускании видимых лучей? ультрафиолетовых лучей?

*Ответ:* При испускании видимых лучей электрон в атоме водорода переходит с третьей и более удаленных орбит на вторую. При испускании ультрафиолетовых лучей электрон в атоме водорода переходит с любой орбиты на первую.

6. а. Ядро тория  ${}_{90}^{230}\text{Th}$  превратилось в ядро радия  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ . Какую частицу выбросило ядро тория? Напишите реакцию.

б. Пользуясь законом взаимосвязи массы и энергии, вычислить энергию связи между нуклонами в ядре гелия:  $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\alpha} = 4,00151$  а.е.м.

*Решение:* а)  $\alpha$ -частицу.  ${}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{88}^{226}\text{Ra}$ .

б)  $\Delta E = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\alpha})c^2$ ,  $\Delta m \approx 4,860 \cdot 10^{-28}$  кг,  $\Delta E \approx 4,4 \cdot 10^{-12}$  Дж.

7. а. При бомбардировке нейтронами атома азота  ${}_{7}^{14}\text{N}$  испускается протон. В ядро какого изотопа превращается ядро азота? Напишите реакцию.

б. Вычислить энергию связи ядра лития  ${}_{3}^6\text{Li}$ :  $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{я}} = 6,01513$  а.е.м.

Решение: а)  ${}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^{13}_6\text{C}$ .

б)  $\Delta E = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2$ ,  $\Delta m = 5,426 \cdot 10^{-29}$  кг,  
 $\Delta E = 2,8448 \cdot 10^{-10}$  Дж.

8. а. Ядро какого элемента получается при взаимодействии нейтрона с протоном (сопровождающемся выделением  $\gamma$ -кванта)?

б. Вычислить энергию связи ядра урана  ${}^{238}_{92}\text{U}$ :  $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{я}} = 238,03$  а.е.м.

Решение: а)  ${}^1_0\text{n} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^2_1\text{H} + \gamma$ .

б)  $\Delta E = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2$ ,  $\Delta m = 3,161 \cdot 10^{-27}$  кг,  
 $\Delta E = 2,8448 \cdot 10^{-10}$  Дж.

9. а. При взаимодействии атома дейтерия с ядром бериллия  ${}^9_4\text{Be}$  испускается нейтрон. Написать ядерную реакцию.

б. Вычислить энергию связи ядра алюминия  ${}^{27}_{13}\text{Al}$ :  
 $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{я}} = 2,01410$  а.е.м.

Решение: а)  ${}^9_4\text{Be} + {}^1_2\text{H} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{10}_5\text{B}$ .

б)  $\Delta E = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2$ ,  $\Delta m = 3,89137 \cdot 10^{-28}$  кг,  
 $\Delta E = 3,50223 \cdot 10^{-11}$  Дж.

10. а. Дописать реакцию:  ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ? + {}^7_3\text{Li}$ .

б. Вычислить энергию связи ядра дейтерия  ${}^2_1\text{H}$ :  $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{я}} = 2,01410$  а.е.м.

Решение: а)  ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^7_3\text{Li}$ .

б)  $\Delta E = \Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2$ ,  $\Delta m = 3,05440 \cdot 10^{-30}$  кг,  
 $\Delta E = 3,74896 \cdot 10^{-13}$  Дж.

11. а. При бомбардировке нейтронами атома алюминия  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  испускается  $\alpha$ -частица. В ядро какого изотопа превращается ядро алюминия?

б. Вычислить дефект массы ядра кислорода  ${}^{17}_8\text{O}$ :  $m_p = 1,00728$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{я}} = 16,99913$  а.е.м.

Решение: а)  ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\alpha + {}^{24}_{11}\text{Na}$ .

б)  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$ ,  $\Delta m = 2,27503 \cdot 10^{-28}$  кг.

12. Наибольшая длина волны спектральной водородной линии серии Бальмера равна 656,3 нм. Определите по этой длине волны наибольшую длину волны в серии Лаймана.

*Решение:* Частота излучения атома водорода

$$\nu = Rc \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

В серии Бальмера  $n = 2$ , в серии Лаймана  $n = 1$ . Наибольшая длина волны в каждой серии соответствует  $m = n + 1$ .

Для наибольшей длины волны в сериях Бальмера и Лаймана можно записать

$$\frac{1}{\lambda_1} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right), \quad \frac{1}{\lambda_2} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right).$$

Разделив первое уравнение на второе, получим

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{5 \cdot 4}{36 \cdot 3}, \quad \text{отсюда } \lambda_2 = 1215 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

13. Какая энергия выделится при образовании 1 г гелия  
<sup>4</sup>He из протонов и нейтронов.

*Решение:* Ядро атома гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов.

Масса ядра атома гелия  $M_{\text{He}} = 4,00337$  а.е.м.

Масса покоя нейтрона  $m_n = 1,00894$  а.е.м.

Масса покоя протона  $m_p = 1,00758$  а.е.м.

При образовании атома гелия дефект массы

$$\Delta m = 2(m_p + m_n) - M_{\text{He}} = 0,02923 \text{ а.е.м.}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Энергия, выделяющаяся при образовании одного атома гелия,  $\Delta E = \Delta m \cdot 931,44 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}} = 27,126 \text{ МэВ.}$

В 1 г гелия содержится атомов:

$$N = \frac{m}{M_{\text{He}}} \cdot N_A = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,504 \cdot 10^{23} \text{ (атомов).}$$

Следовательно, при образовании 1 г гелия выделится энергия  $E = \Delta E \cdot N$ . Вычисляя, получим:  $E = 40,797 \cdot 10^{23} \text{ МэВ} = 65,275 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$

### Задачи для самостоятельного решения

1. Почему нейтроны являются лучшими «снарядами» для разрушения ядра атома, чем другие частицы?

2. Почему хранение природного урана не связано с опасностью взрыва?

3. Почему радиоактивные препараты хранят в толсто-стенных свинцовых контейнерах?

4. Назовите известные вам элементарные частицы, входящие в состав ядра, и опишите их свойства.

5. Какой изотоп образуется из радиоактивного  $^{232}_{90}\text{Th}$  в результате четырех  $\alpha$ - и двух  $\beta$ -распадов?

### Тестовые задания

1. Что характеризует соотношение Луи де Бройля?
  - а) все свойства микрочастиц;
  - б) корпускулярные свойства микрочастиц;
  - в) закон сохранения энергии в микромире;
  - г) волновые свойства микрочастиц;
  - д) взаимопревращения микрочастиц.
2. В чем состоит концепция неопределенности?
  - а) в неопределенности волновых свойств частиц;
  - б) неопределенности корпускулярных свойств микрочастиц;
  - в) неопределенности положения микрочастиц;
  - г) неопределенности одновременного нахождения точной координаты и импульса микрочастиц;
  - д) неопределенности нахождения импульса микрочастицы.
3. Что характеризует принцип дополнительности?
  - а) корпускулярные свойства микрочастиц;
  - б) дополняет свойства микрочастиц при движении их с большой скоростью;
  - в) волновые свойства микрочастиц;
  - г) двойственную природу микрочастиц;
  - д) наличие дополнительных свойств у микрочастиц.
4. Кем было предсказано существование античастицы?
  - а) Эйнштейном;
  - б) Резерфордом;
  - в) Ферми;
  - г) Дираком;
  - д) Ньютоном.
5. Что происходит при встрече частицы и античастицы?
  - а) они отталкиваются;
  - б) образуют нейтральную частицу;

- в) аннигилируют;
  - г) образуют двойную частицу;
  - д) проходят мимо.
6. Как изменяется массовое число и номер элемента при выбрасывании из ядра протона?
- а) уменьшается на 1, смещается на 1 влево;
  - б) увеличивается на 1, смещается на 1 вправо;
  - в) увеличивается на 1, смещается на 1 влево;
  - г) уменьшается на 1, смещается на 1 вправо;
  - д) не изменяется.
7. Какие из частиц обладают слабым взаимодействием?
- а) фотоны;
  - б) лептоны;
  - в) мезоны;
  - г) барионы;
  - д) адроны.
8. Какие взаимодействия существуют между элементарными частицами?
- а) сильное;
  - б) электромагнитное;
  - в) слабое;
  - г) гравитационное;
  - д) все четыре.
9. Сколько протонов  $Z$  и нейтронов  $N$  в ядре изотопа урана  ${}_{92}^{238}\text{U}$ ?
- а)  $Z = 92$ ;  $N = 238$ ;
  - б)  $Z = 238$ ;  $N = 92$ ;
  - в)  $Z = 92$ ;  $N = 92$ ;
  - г)  $Z = 146$ ;  $N = 42$ ;
  - д)  $Z = 92$ ;  $N = 146$ .
10. Укажите второй продукт ядерной реакции  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + ?$
- а)  $p$ ; б)  $e$ ; в)  $\gamma$ ; г)  $n$ ; д)  ${}^2_1\text{H}$ .
11. Какое уравнение характеризует вероятностное поведение микрочастиц?
- а) законы Ньютона;
  - б) формула Эйнштейна;
  - в) формула Планка;
  - г) уравнение Шредингера;
  - д) принцип Паули.

12. Что такое  $\beta$ -излучение?
- а) поток ядер атома гелия;
  - б) поток протонов;
  - в) поток электронов;
  - г) поток нейтронов;
  - д) поток фотонов.
13. По каким законам происходит излучение и поглощение энергии атомов?
- а) законам Планка;
  - б) закону Релея-Джинса;
  - в) закону Эйнштейна;
  - г) постулатам Бора;
  - д) принципу Паули.
14. Нейтральная капля разделилась на три. При этом первые две капли имели заряды  $4q$  и  $-7q$ . Каким зарядом обладает третья капля?
- а)  $+11q$ ; б)  $-3q$ ; в)  $-4q$ ; г)  $+3q$ ; д)  $-11q$ .
15. Почему эти частицы называются элементарными частицами?
- а) поскольку состоят из элементов;
  - б) потому что они обладают свойствами элементов;
  - в) поскольку они наименьшие по массе;
  - г) так как они наименьшие по размеру;
  - д) потому что внутреннюю структуру их нельзя представить как объединение других частиц.
16. Радиоактивный изотоп технеция  $^{95}_{43}\text{Tc}$ , не обнаруженный в природе, был получен искусственно в результате реакции:  $^{94}_{42}\text{Mo} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{95}_{43}\text{Tc} + ?$
- Какая частица выбрасывается?
- а) нейтрон;
  - б) протон;
  - в) электрон;
  - г)  $\alpha$ -частица;
  - д) частица не выбрасывается.

### Тематика рефератов

1. Элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия.
2. Современные проблемы квантовой механики.
3. Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц.

4. Принцип неопределенности Гейзенберга.
5. Планетарная модель атома.
6. Непрерывный и дискретный мир классической физики.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Рузавин, Г. И.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 288 с.
3. *Горелов, А. А.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 346 с.
4. *Дубнищева, Т. Я.* Концепции современного естествознания, 1997. — 630 с.
5. *Мухин, К. Н.* Занимательная ядерная физика. — М., 1969. — 286 с.
6. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989. — 267 с.



## Глава 8

# КОНЦЕПЦИИ ВЕЩЕСТВА

### 8.1. Свойства, формы и виды материи

Есть многое на свете, друг Гораций,  
Что и не снилось нашим мудрецам.

*У. Шекспир*

Все то, из чего состоит окружающая нас Вселенная, мы называем **материей**. Философское определение материи — это объективная реальность, существующая вне и независимо от человеческого сознания и отображаемая им. Философское понятие материи может быть определено только путем соотношения его с понятием сознания, что его отражает. Получается, если нет субъекта познания, то нет и материи. Если материя есть объективная реальность, то сознание — это субъективная реальность. Сознание есть свойство высокоорганизованной материи как идеальное отражение материального мира. Кроме указанного свойства, есть и другие свойства материи.

Новейшие открытия в области естествознания показали, что материя обладает такими всеобщими свойствами, как субстанциональность, активность, сохраняемость, структурность, неисчерпаемость, способность отражения, конечность и бесконечность, абсолютность и относительность, прерывность и непрерывность и др.

Ниже перечислены определения ряда **всеобщих свойств материи**.

*Субстанциональность* материи состоит в том, что объективная реальность есть причина самой себя, она не сотворима и не уничтожима.

*Активность* материи выражается в ее беспредельной способности к самодвижению, развитию, ведущему к непрестанным качественным изменениям мира, его постоянному обновлению. Существование материи — это вечно

живой, внутренне активный процесс образования, развития и взаимодействия многообразных видов и свойств.

*Сохраняемость* материи заключается в том, что она как объективная реальность не может возникнуть из ничего и бесследно исчезать. Происходит лишь превращение одних материальных форм в другие. Доказательством сохраняемости материи являются законы сохранения массы, энергии, количества движения, электрического заряда и т.д.

*Структурность* материи означает ее принципиальную несводимость к понятию последним и неизменным «элементам». Каким бы простым ни казался любой материальный объект, он всегда обладает сложной структурой. Структурность связана целостной системой.

*Неисчерпаемость* материи заключается в бесконечном многообразии видов и свойств объективной реальности (микро-, макро- и мегамиров), форм их взаимодействия и взаимопереходов. На каждом структурном уровне материи действуют свои специфические закономерности.

*Свойство отражения* присуще всей материи, как органической, так и неорганической. Свойство отражения заключается в способности материального объекта при взаимодействии с другими воспроизводить в своих изменениях (в виде впечатков, следов, образов и т.д.) особенности взаимодействующих объектов. Чем сложнее уровень организации материи, тем становятся сложнее сами формы отражения, начиная от простой механической формы в неорганическом мире — к раздражимости в органической природе. И как самая высшая форма материи, присущая человеческому мозгу, — это психическое отражение в виде сознания (ощущения, восприятия, представления, понятия, суждения и умозаключения).

С точки зрения современной науки **основные формы материи** — это:

1. *Система неживой природы* (элементарные частицы и поля, вакуумы, атомы, молекулы, макроскопические тела, космические системы различных порядков).

2. *Живые системы* (вся биосфера, от микроорганизмов до человека).

3. *Социально-организованные системы* (человек, общество).

Материя существует в виде вещества и поля.

Таким образом, **материя** (лат. «materia») — все, из чего состоит окружающий мир, множества явлений, объектов

и их систем, носитель всех разнообразных свойств, отношений, взаимодействий объектов и форм движения. Все существующее в природе материально. Многообразие явлений в мире представляет собой различные виды движения материи.

## 8.2. Вещество и его состояния

Не можешь изменить порядок вещей —  
измени свое отношение к ним.

*Сенека*

Вещество — один из видов материи, из которого состоит весь окружающий нас мир. Его образуют большое скопление различных частиц, структур. Вещество представляет собой однородный (гомогенный) вид материи, т.е. такой материи, каждая частица которой имеет одинаковые физические свойства. Разные изделия, имеющие различное назначение и форму, могут быть изготовлены из одного и того же материала и их вещество будет одинаковым. Под **веществом** понимают чистую материю, без примесей. Под **материалом** — вещество того же наименования, полученное в реальных условиях, т.е. имеющее неизбежные примеси.

В зависимости от условий среды вещество может находиться в твердом, жидком, газообразном и плазменном агрегатных состояниях. Микроструктура и состояние движения частиц в этих состояниях вещества носят различный характер. Рассмотрим их.

**Твердое состояние.** При достаточно низких температурах вещество находится в твердом состоянии, энергия системы минимальна и из всех возможных взаимных расположений частиц реализуются упорядоченные, называемые кристаллическими. Под понятием кристалл (кристаллическое тело) разумеют прежде всего периодичность его микроскопической структуры. В кристалле каждый атом окружен другими, расположенными определенным образом атомами, и если эта конфигурация атомов обладает наименьшей возможной энергией, ясно, что она должна повторяться и в любых других структурах тела. Простейшая конфигурация атомов, которая периодически повторяется вдоль тела во всех трех измерениях, образует элементарную ячейку кристаллической решетки. Кристал-

лическая решетка обладает симметрией переноса вдоль соответствующего направления. Естественно, физические величины также обладают такой же периодичностью. Число типов симметрии в природе ограничено. В решетках между атомами существует ионная, ковалентная, металлическая и ван-дер-ваальсовая связи. В реальных кристаллических телах существуют различные дефекты решетки: точечные дефекты (вакансии — пустые незаполненные места в узлах решетки; межузельные атомы внедрения); линейные дефекты, к которым относятся дислокации, — наличие в решетке лишней кристаллической полуплоскости. По энергетическому характеру распределения электронных состояний в кристаллах в природе существуют три основные группы кристаллических твердых тел: металлы, диэлектрики и полупроводники. Они имеют различные свойства электрической проводимости тока. Атомы в твердом теле не могут значительно удаляться от своих равновесных положений — узлов кристаллической решетки. Их движение в основном сводится к колебаниям вблизи узлов решетки. Геометрия кристаллического состояния вещества при обычных давлениях и температурах отличается необычайным разнообразием, хотя число типов решеток и ограничено. Свойства веществ определяются не только характером атомов, но и их взаимным расположением. В качестве примера можно указать на алмаз и графит — вещества, состоящие из одних и тех же атомов углерода, но имеющие различные кристаллические решетки. Тела могут сильно отличаться в отношении механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств. Зная атомную природу тел и зависимость указанных свойств от нее, можно целенаправленно создавать новые материалы.

**Жидкое состояние.** При повышении температуры скачкообразно происходит фазовый переход кристалл — жидкость (плавление) и при этом поглощается удельная теплота перехода. Каждое вещество имеет строго определенную температуру плавления. Жидкость — это вещества, в которых взаимодействие между частицами велико и в то же время тепловое движение частиц является сложным. В жидком состоянии атомы уже не являются строго локализованными, т.е. связанными с какими-то определенными положениями в теле. Они совершают колебательное движение и могут перескакивать, поэтому жидкости, сохраняя объем,

могут изменять свою форму. Тепловые свойства конкретных жидкостей существенно индивидуальны.

**Газообразное состояние.** При дальнейшем повышении температуры вещества при определенной температуре, характерной для данного вещества, происходит фазовый переход жидкость — газ. В газах частицы совершают хаотическое поступательное движение. Вещество в газообразном состоянии представляет собой совокупность многих слабо взаимодействующих частиц и практически полностью теряет свою индивидуальность. Это связано с малой плотностью газообразного вещества. В разреженных газах, по существу, отсутствует взаимное влияние атомов, а значит, не проявляется их индивидуальная атомная структура. Газы всех веществ (при нормальных условиях) с хорошей точностью подчиняются одинаковым закономерностям.

**Плазменное состояние.** Дальнейшее весьма значительное повышение температуры (до  $10^4$ — $10^5$  К) среды ведет к ионизации атомов, т.е. распаду их на ионы и свободные электроны. Частично или полностью ионизированный газ образует особое состояние вещества, называемое плазмой. Поскольку ионы и электроны в отличие от атомов несут нескомпенсированные электрические заряды, их взаимное влияние становится существенным. Плазма в противовес газам может проявлять коллективные свойства, что сближает ее с конденсированным состоянием, т.е. с твердыми телами и жидкостями. В плазме легко возбуждаются всякого рода упругоэлектрические колебания. Особыми свойствами обладают вещества при сверхвысоких температурах и больших плотностях. При температурах  $\sim 10^7$  К достигается полная ионизация плазмы: вещество состоит из «голых» ядер и свободных электронов. При дальнейшем повышении температуры начинаются ядерные превращения ( $\sim 10^8$  К). При температурах свыше  $10^9$  К ядра разрушаются; при этом вещество состоит из протонов и электронов. Наконец, при температурах свыше  $10^{13}$  К возможно широкое превращение частиц друг в друга. Это все рассматривалось при нормальном давлении. При невысокой температуре изменение давления также приводит к изменению состояния вещества. При сжатии вещества до  $\sim 10^8$  атм электронные оболочки атомов деформируются и возможно свободное движение внешних электронов, т.е. «металлизация» вещества. При достаточном сжатии вещества до  $\sim 10^{12}$  атм роль взаимодействия электронов с ядрами становится несущественной и вещество можно

рассматривать как электронный газ большой плотности. Когда давление газа становится порядка  $10^{18}$  атм, происходит захват электронов ядрами с испусканием нейтрино и уменьшением заряда и энергии связи ядра. При давлении  $10^{24}$  атм нейтроны преобладают над электронами и вещество можно рассматривать как нейтронный газ. При давлении  $10^{27}$  атм нейтронный газ имеет плотность ядерного вещества.

### 8.3. Концептуальные уровни в познании веществ

Слышал я: под ударами гончара  
Глина тайны свои выдавать начала:  
«Не топчи меня! — глина ему говорила:  
Я сама человеком была лишь вчера».

*О. Хайям*

Совокупность атомов и молекул образует макроскопическое тело, или **вещество**. Закономерности, происходящие в веществах, процессы их превращения, при которых происходит изменение их состава и структуры, изучает раздел естествознания — **химия**.

Химия — это естественная наука, изучающая химические превращения вещества и исследующая условия, при которых эти превращения происходят. Она занимается также явлениями природы, сопровождающими химические изменения вещества, изучает причины и законы управления химическими процессами, а также рассматривает составные части вещества и их применение на практике. Отдельные химические процессы (получение металлов из руд, крашение тканей и др.) использовались еще на заре становления человеческой цивилизации. Позже, в III—IV вв., зародилась алхимия, задачей которой было превращение неблагородных металлов в благородные (золото, серебро). Начиная с эпохи Возрождения результаты химических исследований все в большей мере стали использовать для практических целей (металлургия, стеклоделие, керамика, получение красок и т.д.).

Химию можно определить как науку, изучающую вещества и процессы их превращения, сопровождающиеся изменением состава и структуры и обязательно энергетическими изменениями в реагирующей системе. Вследствие взаимосвязанности форм движения материи и их взаимо-

превращаемости в результате химических реакций имеет место превращение химической энергии в теплоту, свет и пр. Химия нужна человечеству для того, чтобы из вещества природы получать по возможности все необходимое — металлы, цемент, бетон, керамику, фарфор, стекло, каучук, пластмассы, искусственные волокна, лекарства и многое другое.

Основой химической науки является атомно-молекулярное учение (АМУ), закон сохранения материи, периодический закон и теория строения вещества, учение о химическом процессе (кинетика). Химические процессы подчиняются всеобщим законам природы — закону сохранения массы вещества и закону сохранения энергии. Закон сохранения массы вещества установили М. В. Ломоносов и А. Л. Лавуазье почти независимо друг от друга. Их заслуга в развитии химии состоит и в том, что при химических реакциях они применили физические методы, в частности взвешивание. Закон сохранения массы в химических процессах можно сформулировать так: сумма масс исходных веществ (соединений) равна сумме масс продуктов химической реакции. Например, при разложении воды масса воды будет равна сумме массы водорода и массы кислорода. Из закона сохранения вещества вытекает, что вещество нельзя ни создать из ничего, ни уничтожить совсем. Количественным выражением закона сохранения массы веществ применительно к производственному химическому процессу является материальный баланс, в котором подтверждается, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию, равна массе полученных веществ. Закон сохранения энергии действует во всех случаях и повсюду, где одна форма энергии переходит в другую.

Несмотря на обилие эмпирического материала о свойствах различных веществ и их соединений, особенностях протекания разнообразных реакций, в химии до открытия в 1869 г. периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева не существовало той объединяющей концепции, с помощью которой можно было объяснить весь накопленный фактический материал. Было бы, однако, неправильно не учитывать той громадной исследовательской работы, которая привела к утверждению системного взгляда на химические знания. Развитие теоретических основ химии диктуется потребностью химического производства совершенствовать управление хи-

мическим процессом для получения веществ с заранее заданными свойствами.

Историю развития теоретических основ химии можно представить в виде следующих этапов.

**В период зарождения химии как науки (вторая половина XVII в.)** возникло первое концептуальное учение **о составе**. Объяснение свойств веществ связывалось с их составом, а изменением состава объяснялось химическое превращение. Последующее становление учения (на концептуальном уровне) о составе предопределило открытие стехиометрических законов (закона постоянства состава, закона эквивалентов и закона кратных отношений), развитие понятия химического элемента, представлений о валентности, периодическом законе и периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева, методах исследования состава соединений и др.

**Второй концептуальный уровень развития химии связан с зарождением структурной химии (XIX в.).** Было замечено, что огромное разнообразие веществ растительного и животного происхождения связано с набором весьма небольшого числа химических элементов (углерода, водорода, кислорода, азота и некоторых других). К тому же при одинаковом составе вещества (изомеры) имеют разные свойства. Это означало, что свойства веществ зависят не только от состава, но и от структуры. (А. М. Бутлеров разработал основные положения.) Если при зарождении химии как науки главным направлением был химический анализ, то с появлением структурной химии стал органический синтез. Сегодня структурная химия строится на квантово-механических представлениях о химической связи, строении молекул и кристаллов, на методах исследования структуры веществ, изучении влияния структуры на свойства веществ и пр.

**Третий уровень в развитии химии связан с возникновением (конец XIX в.) и развитием учения о химическом процессе — о его принципиальной возможности и условиях протекания.** Это было вызвано резким возрастанием потребностей и масштабов производства продуктов химической переработки нефтяного сырья. Учение о химическом процессе рассматривает энергетику химических процессов, химическое равновесие и условия его смещения, кинетику и механизмы реакций и т.д. Этот уровень познания представляет собой исследование внутренних механизмов и условий про-



текания химических процессов, таких как температура, давление, скорость протекания реакций и др.

Наконец, **четвертый концептуальный уровень** является дальнейшим развитием предыдущего уровня, связанным с **более глубоким изучением природы реагентов, участвующих в химических реакциях, а также применением катализаторов**, значительно увеличивающих скорость их протекания. На этом уровне мы встречаемся уже с простейшими явлениями самоорганизации, изучаемыми синергетикой.

**В наши дни наблюдается новый уровень развития химии, который направлен на создание наиболее экономичного и экологически чистого химического производства**, использование в промышленных масштабах закономерностей химических превращений живой природы.

Тридцатые годы ознаменовались следующим скачком — появлением теории молекулярных орбиталей (МО). Теория МО позволила успешно описать строение, электронное устройство многих органических соединений. Так, например, были выведены правила, позволяющие предсказать, будет ли еще не синтезированное соединение ароматическим. Концептуальные системы химии наиболее наглядно можно изобразить посредством приведенной схемы (рис. 8.1), в которой вертикальная координата  $y$  представляет массив всей теоретической и эмпирической информации, накопленной со времен Бойля и до настоящего времени, а горизонтальная координата — историческое время — период 1660—1990 гг.

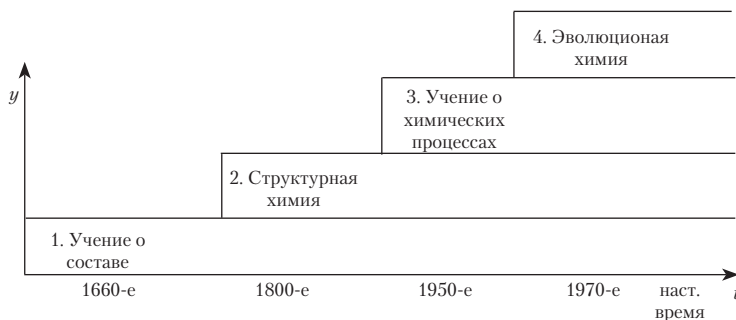


Рис. 8.1. Концептуальные уровни развития химии

Как видно, в развитии химии происходит не смена, а строго закономерное последовательное появление концептуальных систем. При этом каждая вновь появляющаяся

система не отрицает нижележащую предыдущую, а, наоборот, опирается на нее и включает ее в себя в преобразованном виде. Так, учение о химических процессах предполагает наличие знаний о составе исходного сырья, о строении молекул исходных реагентов и об их реакционной способности, потому что эти знания позволяют химику подобрать исходное сырье для получения целевого продукта. Но этих знаний недостаточно для того, чтобы осуществить химический процесс с максимальным экономическим эффектом и соблюдением экологических требований охраны окружающей среды. Для этого дополнительные знания дает учение о химических процессах — термодинамика, химическая кинетика, химическая технология.

Основная цель современной химии, вокруг которой строится вся исследовательская работа, заключается в получении веществ с заданными свойствами. Это и определяет содержание двуединой центральной задачи химии: исследование генезиса (т.е. происхождения) свойств веществ; разработка на этой основе методов получения веществ с заранее заданными свойствами.

#### 8.4. Состав вещества и химические системы

Во тьме должны обращаться физики,  
а особливо химики, не зная внутренних,  
нечувствительных частиц строения.

*М.В. Ломоносов*

В настоящее время химическим элементом называют вещество, все атомы которого обладают одинаковым зарядом ядра, хотя и различаются по своей массе, вследствие чего атомные веса элементов не выражаются целыми числами.

**Молекулой** по-прежнему называют наименьшую частицу вещества, которая определяет его свойства и может существовать самостоятельно. Однако к молекулам теперь относят также разнообразные другие квантово-механические системы (ионные, атомные монокристаллы, полимеры и другие макромолекулы). Последнее особенно важно для ясного понимания структуры с точки зрения системного подхода, где под структурой подразумевают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, вследствие чего и возникают новые целостные ее свойства.

В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия составляющих ее атомов определяет свойства молекулы.

Химия изучает процессы превращения молекул при взаимодействиях и при воздействии на них внешних факторов (теплоты, света, электрического тока, магнитного поля), во время которых образуются новые химические связи. Под химической связью понимается результат взаимодействия между атомами, выражающийся в создании определенной конфигурации атомов, отличающей один тип молекулы от другого. Химические связи порождают взаимодействие электронных оболочек атомов. Если атомные конфигурации подходят друг к другу, возникает одна округлая структура, несколько большая, чем до этого был каждый атом в отдельности. Так получается насыщенная молекула, и присоединить к ней еще какой-то атом почти невозможно, т.е. химические связи отличаются насыщенностью. С введением понятия валентности ею стали объяснять строение и химические свойства молекул. Наиболее распространены **четыре** вида химических связей: **ионная, ковалентная, металлическая и водородная**. Химическая связь, осуществляемая за счет образования общих для взаимодействующих атомов электронных пар, называется **ковалентной** связью. Химическая связь, в основе которой лежит электростатическое взаимодействие ионов, называется **ионной**. Химическая связь, основанная на обобществлении валентных электронов всех атомов в кристалле, называется **металлической**. Химическая связь, обусловленная взаимодействием полярных молекул, одной из которых является водород, называется **водородной**. Химические связи можно рассматривать с точки зрения превращения энергии: если при создании молекулы ее энергия меньше, чем сумма энергий составляющих ее изолированных атомов, то она может существовать, т.е. ее связь устойчива.

Каждое вещество характеризуется определенными физическими и химическими свойствами. Когда какое-нибудь простое вещество вступает в химическую реакцию и образует новое вещество, то оно при этом теряет большинство своих свойств. Например, железо, соединяясь с серой, теряет металлический блеск, ковкость, магнитные свойства и др. Следовательно, в сульфиде железа нет железа, каким мы знаем его в виде простого вещества. Но так как из сульфида железа (FeS) при помощи химических реакций можно снова получить металлическое железо, то говорят, что

в состав сульфида железа входит элемент железо, понимая под этим тот материал, из которого состоит металлическое железо. Точно так же водород (H) и кислород (O), входящие в состав воды, содержатся в воде не в виде газообразных водорода и кислорода с их характерными свойствами, а в виде элементов — водорода и кислорода. Если же элементы находятся в «свободном состоянии», т.е. не связаны химически ни с каким другим элементом, то они образуют простые вещества.

Долгое время не делалось различия между элементом и простым веществом. Понятие «элемент» в качестве научного термина впервые использовано Р. Бойлем в 1661 г. Со времен Бойля элементом считали всякое простое вещество, которое можно получить в результате разложения сложных веществ, но которое не способно к дальнейшему разложению на еще более простые вещества.

Первым был открыт химический элемент фосфор в 1669 г., потом кобальт, никель и др. Открытие французским химиком А. Л. Лавуазье кислорода и установление его роли в образовании различных химических соединений позволило отказаться от прежних представлений об «огненной материи».

Многочисленными экспериментами М. В. Ломоносова также была опровергнута флогистонная теория окисления металла. Согласно этой теории процесс окисления металла рассматривался как реакция разложения: металл считался сложным веществом, а окалина простым, т.е. железо → окалина + флогистон. М. В. Ломоносов, проведя эксперименты в запаянных ретортах, установил, что масса сосуда с прокаленным железом не меняется, если взвесить, не вскрывая его. Французский ученый А. Лавуазье также показал, что горение есть реакция соединения вещества с кислородом воздуха. Как отмечал Энгельс, Лавуазье поставил на ноги всю химию, которая в своей флогистонной форме стояла на голове.

Начало XIX в. ознаменовалось открытием новых количественных закономерностей. Разработка атомно-молекулярной теории позволила Дальтону высказать атомную гипотезу и ввести в химию понятие об относительном атомном весе элементов и определить атомные веса некоторых элементов. По Дальтону, элемент можно определить как вид атомов, характеризующихся определенным значением атомного веса, а простые вещества состоят из определенного вида атомов, следовательно, простые вещества суть элементы. Путаница была устранена позже, когда было установлено, что многие

простые вещества образованы из молекул, а не из атомов. Впервые Менделеев в связи с этим указал на необходимость ясно различать два понятия: элемент и простое вещество, или простое тело. Если простому (веществу) телу соответствует понятие о частице, то элементу — об атоме. Углерод есть элемент, а уголь, графит и алмаз суть тела простые.

Пользуясь понятием о химических элементах, можно сказать, что важнейшая задача химии состоит в изучении свойств элементов, в отыскании общих закономерностей в их поведении и в отношении между собой. К середине XIX в. насчитывалось уже 63 элемента, был накоплен достаточно богатый экспериментальный материал, касающийся их физических и химических свойств, и были установлены групповые общие свойства. Были собраны сведения и о таких характеристиках, как атомная масса элементов и их валентность, т.е. способность образовывать различные формы соединений. Прежде всего нужно было решить основной вопрос: являются ли химические элементы разрозненными, независимыми или они закономерно связаны между собой в единую систему.

Первые попытки решения этой задачи относятся к первой половине XIX в. Доберейнер (1829 г.) сгруппировал элементы в триады, Одлинг (1857 г.) размещал 48 элементов в единую таблицу из 13 групп сходных элементов, де Шаркунтуа (1863 г.), Ньюлендс распределили 63 элемента в порядке возрастания их атомной массы, а немецким химиком Мейером была опубликована таблица элементов, где отсутствовали элементы: бор, алюминий и водород. Всего попыток классификации было не менее пятидесяти, и все были по существу безуспешны. В основе неудач лежал метафизический способ их мышления. Основоположником системного освоения химических знаний явился Д. И. Менделеев. Он исходил из принципа, что любое точное знание представляет систему. Такой подход позволил ему в 1869 г. открыть периодический закон и разработать Периодическую систему химических элементов, в которой основной характеристикой элементов являются атомные веса. Диалектико-материалистический подход к систематизации элементов является основной причиной успеха Д. И. Менделеева.

Периодическая система элементов оказала большое влияние на последующее развитие химии, она явилась могучим орудием для дальнейших исследований. На основании периодического закона Д. И. Менделеев предсказал су-

ществование 12 новых элементов, причем для трех из них (галлий — Ga, германий — Ge и скандий — Sc) описал подробно их свойства. В течение полувека были обнаружены в природе почти все элементы, расположенные до урана. Путеводной нитью для поиска и установления химической природы элементов явился периодический закон и метод предсказания, использованный Д. И. Менделеевым. Периодический закон и периодическая система получили свое полное подтверждение и дальнейшее развитие при установлении строения атомов элементов. Периодический закон стал результатом системной упорядоченности химических знаний. Сейчас в химии накоплены огромные фактические данные о восьми миллионах индивидуальных химических соединений постоянного состава и миллиардах соединений переменного состава.

Современная формулировка периодического закона следующая: от величины положительного заряда ядра атома зависят все свойства элемента и его положение в периодической системе. Теория строения атома объясняет периодическое изменение свойств элементов при переходе от одного периода к другому: с ростом  $Z$  строение электронных оболочек атомов повторяется. Особенно это касается внешних энергетических уровней, на которых расположены валентные электроны. В пределах одного периода с увеличением заряда ядра наружные слои заполняются постепенно, достигая своей завершенности в атомах благородных газов. Эта последовательность повторяется в каждом периоде, вследствие чего в них наблюдается переход от металлов в начале периода к неметаллам и благородному газу в его конце. В свете теории строения атома периодический закон получил современную формулировку: свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атома.

Атомный вес элемента определяется как среднее арифметическое величин масс изотопов, из которых состоит элемент. Атомы, обладающие одинаковым зарядом ядра (и, следовательно, тождественными химическими свойствами), но разным числом нейтронов, называют изотопами. Например, хлор состоит из двух изотопов с массовыми числами на 75,53% из изотопа  $^{35}\text{Cl}$  и на 24,47% — из  $^{37}\text{Cl}$ , в результате средняя атомная масса хлора равна 35,453. Открытие изотопов потребовало пересмотра понятия химический элемент. Химический элемент — это вид атомов, характеризующий-

ся определенной величиной положительного заряда ядра. Существование химического элемента в виде нескольких простых веществ называется аллотропией. Графит, алмаз, уголь — аллотропные видоизменения элемента углерода.

С развитием количественных методов исследования в химии были накоплены экспериментальные факты, обобщение которых привело к открытию так называемых стехиометрических законов — закона постоянства состава, закона эквивалентов и закона кратных отношений. Именно эти законы способствовали окончательному утверждению в химии атомно-молекулярного учения. Основой химической науки являются атомно-молекулярное учение, закон сохранения материи, периодический закон Д. И. Менделеева и теория химического строения.

Основные положения атомно-молекулярного учения заключаются в следующем:

1. Вещества состоят из молекул; молекулы различных веществ отличаются химическим составом, размерами, физическими и химическими свойствами.

2. Молекулы находятся в непрерывном движении; между ними существует взаимное притяжение и отталкивание. Скорость движения молекул зависит от агрегатного состояния веществ.

3. При физических явлениях состав молекул остается неизменным, при химических — они претерпевают качественные и количественные изменения и из одних молекул образуются другие.

4. Молекулы состоят из атомов. Атомы характеризуются определенными размерами и массой. Свойства атомов одного и того же элемента одинаковы и отличаются от свойств атомов других элементов.

Масса атома, выраженная в атомных единицах массы (а.е.м.), называется относительной атомной массой.  $1 \text{ а.е.м.} = 1,667 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

Элементы, соединяясь в разных количественных соотношениях друг с другом, образуют химические соединения — сложные вещества. Что собой представляет химическое соединение? Обладает ли сложное вещество переменным или постоянным составом?

Известный французский химик Ш. Пруст в отличие от К. Бертолле считал, что любое химически чистое соединение независимо от способа его получения имеет вполне определенный состав. Именно на этом законе, получившем

название закона постоянства состава, он объяснил различие между химическими соединениями и смесями. Например,  $\text{CO}_2$  — углекислый газ можно получить несколькими способами:  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ;  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$ , но в чистом  $\text{CO}_2$  всегда содержится 27,29% С и 72,71%  $\text{O}_2$  по массе.

Многие элементы, соединяясь друг с другом, могут образовывать разные вещества, каждое из которых характеризуется определенным соотношением между массами этих элементов. Так, углерод и кислород образуют оксид углерода — СО и диоксид углерода —  $\text{CO}_2$ . Изучая подобные соединения, английский ученый Д. Дальтон установил закон кратных отношений: Если два элемента образуют друг с другом несколько соединений, то массы одного из элементов, приходящиеся в этих соединениях на одну и ту же массу другого, относятся между собой как небольшие числа.

Дальтон придерживался атомной теории строения вещества; изучая свойства газов, открыл закон парциальных давлений газов. Закон непосредственно свидетельствовал о том, что элементы входят в состав соединений лишь определенными порциями, что свидетельствует о прерывном строении вещества. Развивая атомно-молекулярную теорию, Дальтон ввел близкое к современному представление об атомах и об относительных атомных массах элементов. Но в отличие от закона сохранения массы, справедливость которого полностью подтверждена открытиями, сделанными после его установления, законы постоянства состава и кратных отношений оказались не столь всеобщими. В связи с открытием изотопов выяснилось, что соотношение между массами элементов, входящих в состав данного вещества, постоянно лишь при условии постоянства изотопного состава этих элементов. Например, тяжелая вода содержит 20% (масс.) водорода, а обычная вода — лишь 11%.

В начале XX в. (более чем через 100 лет) русский ученый Н. С. Курнаков, изучая сплавы металлов, открыл соединения переменного состава, в которых на единицу массы данного элемента может приходиться различная масса другого элемента. Для многих соединений переменного состава установлены пределы, в которых может изменяться их состав, и формула  $\text{TiO}_2$  более точно выражает свой состав в виде  $\text{TiO}_{1,9-2,0}$ . Конечно, такого рода формулы указывают не на состав молекулы (вещества имеют атомную структуру), а лишь отражают гра-



ницы состава вещества. Периодическая система представляет пример упорядоченного конечного счетного множества химических элементов. А можно ли подобным образом упорядочить множество химических соединений, число которых хоть и велико, но не безгранично. И вот оказалось, что вещества с одинаковыми суммами атомных номеров, молекулярных масс и плотностями обладают чрезвычайно близкими физико-химическими свойствами. Достаточно знать химический состав вещества и его плотность, чтобы предсказать и все его прочие свойства. Н. С. Курнаков предложил назвать соединения — бертолоидами в честь К. Бертолле, который впервые предсказал существование веществ переменного состава.

Таким образом, существует обширный класс соединений, не подчиняющихся стехиометрическим законам, т.е. нарушение законов связано с вполне определенным агрегатным состоянием вещества.

В принципе нет четкой границы между соединениями постоянного и переменного состава с точки зрения современной физики. Соединение может быть образовано и из атомов одного химического элемента — простое вещество. Сложное вещество образовано из атомов различной природы, т.е. в состав молекулы сложных веществ входят различные элементы. Вода образована атомами водорода и кислорода, а вещество кислород только из молекул одного элемента — кислорода. Но один элемент кислород образует два аллотропных видоизменения простых веществ — кислород и озон, которые отличаются строением, структурой, физическими и химическими свойствами.

## 8.5. Структура веществ и их свойства

Надо было исследовать предметы, прежде чем можно было приступить к исследованию процессов. Надо сначала знать, что такое данный предмет, чтобы можно было заняться теми изменениями, которые с ним происходят.

*Ф. Энгельс*

Характер любого химического соединения зависит не только от качественного и количественного состава, но и от взаимного влияния атомов и строения молекулы — мельчайшей химической системы.

Вещества, имеющие одинаковую молекулярную формулу, называют изомерами, а само явление изомерией. Формулу  $C_4H_8O$  имеет 21 вещество. Долгое время вплоть до XVIII в. химики не делали различия между минеральными и органическими веществами. Именно явление изомерии заставляет, не довольствуясь установлением молекулярной формулы, идти дальше, выясняя детали внутреннего строения молекул органических веществ, структуру соединения. Структуру молекул органических соединений пытался объяснить шведский химик Й. Берцелиус в своей теории радикалов. В ней он наивно полагает, что структура молекул зависит от электрических зарядов в молекулах органических соединений.

На смену теории радикалов пришла теория типов французского ученого Ш. Жерара, в соответствии с которой органические соединения рассматривались как производные простейших веществ: водорода, воды, аммиака. Формулы получались сходные с современными, но в них вкладывалось содержание совершенно иное: формулы теории типов — это только формулы превращения. Внутреннее строение молекул считалось непознаваемым, становясь на позицию агностицизма — философского учения, ставящего границы человеческому познанию. «Анархия» в химии пошла на убыль благодаря работам Франкланда и Кекуля. В химии утвердилось понятие о валентности, в частности развилось представление о четырех валентностях углерода. Трудami Канницаро была внесена ясность в вопрос об атомных и молекулярных массах, об эквивалентах.

Таким образом, к 1860 г. было достигнуто понимание фундаментальных понятий химии (атом, молекула, эквивалент, валентность), признана справедливость закона Авогадро. Все это способствовало развитию химии в области получения веществ с заранее заданными специфическими свойствами, что являлось крупным шагом вперед. Дальнейшее развитие теории строения находит в трудах русского ученого А. М. Бутлерова. Атомы в органических молекулах связаны друг с другом в определенном порядке химическими силами (силами валентности). Теория Бутлерова потому и названа теорией химического строения, что она указывала не на пространственное взаимное расположение атомов в молекуле, а на распределение действия химических сил сродства. Она указывала на причины активности одних веществ и пассивности других. Более того, она ука-

зывала на наличие активных центров и активных группировок в структуре молекулы. И именно поэтому она стала для химиков действенным руководством в практике синтеза органических веществ. Идеи об энергетической неэквивалентности химических связей, обусловленной взаимным влиянием атомов в структуре молекулы, являются главным содержанием понятия «структура» в теории Бутлерова.

Теория химического строения Бутлерова нашла физические обоснования в квантовой механике. Сегодня под структурой молекул понимается и пространственная, и энергетическая упорядоченность квантово-механической системы, состоящей из атомных ядер и электронов и обладающей единой молекулярной орбиталью. Вообще же понятию «структура» в химии можно дать единое определение: структура — это устойчивая упорядоченность качественно неизменной системы, каковой является молекула. Воззрения Кекуле и Бутлерова превратили химию из науки аналитической, занимающейся изучением состава готовых веществ, в науку преимущественно синтетическую, способную создавать новые вещества и новые материалы. Пространственная структура расположения атомов в молекуле, особенно в органической химии, определяет свойства веществ и особенности химических реакций.

Структуру устанавливают физическими методами — ядерный магнитный резонанс, электронография, масс-спектрометрия и др. Формулы строения выражают порядок химической связи атомов, и каждое вещество имеет одну определенную формулу строения, отражающую порядок химической связи атомов в реально существующей молекуле. Физические и химические свойства органических соединений определяются составом и строением их молекул. В то же время можно было судить лишь о химическом строении — порядке химической связи атомов. В настоящее время имеется возможность определять пространственное строение: определять распределение электрических зарядов — электронное строение. Все три особенности строения составляют одно качественное целостное строение органического соединения. Например, формула  $C_2H_6O$  отвечает двум различным веществам: диметиловому эфиру  $CH_3-O-CH_3$ , этиловому спирту  $CH_3-CH_2OH$ . Благодаря успехам химии и физики в настоящее время знают, что химические явления связаны с процессами, происходящими в электронной оболочке атомов.

В определении строения молекулы как единой целостной системы все больше стали применять различные физико-химические методы, основанные на законах квантовой механики. К таковым относятся: рефрактометрия, спектроскопия, спектральный ядерный магнитный резонанс (ЯМР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Сегодня разработаны методы исследования структуры и свойств химических волокон и пленок акустическим методом.

Многочисленные опыты проводятся в области исследования зависимости биологической активности вещества от его структуры. В связи с этим заслуживает внимание новый метод количественных соотношений структура-активность (сокращенно — КССА), уже зарекомендовавший себя в фармакологии, но пригодный для поиска любых веществ с заранее заданными свойствами.

Таким образом, эволюция понятия химической структуры осуществлялась в направлении, с одной стороны, анализа ее составных частей или элементов, а с другой — установления характера физико-химического взаимодействия между ними. Последнее особенно важно для ясного понимания структуры с точки зрения системного подхода, где под структурой подразумевают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, вследствие чего и возникают новые целостные ее свойства. В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия составляющих ее атомов определяет свойства молекулы.

## 8.6. Химические процессы

О значительнейших вещах не будем  
судить слишком быстро.

*Гераклит*

Химический процесс (*лат.* «processus» — продвижение) представляет собой последовательную смену состояний вещества, тесную связь следующих друг за другом стадий развития, представляющую непрерывное, единое движение. Учение о химических процессах — это область науки, в которой существует наиболее глубокое взаимопроникновение физики, химии и биологии. Химические процессы подразделяются на гомо- и гетерогенные (в зависимости от агрегатного состояния реагирующих систем), экзо- и эндотер-

мические (в зависимости от количества выделяющейся и поглощающейся теплоты), окислительные, восстановительные (в зависимости от отношения к кислороду) и др.

Все процессы можно объединить в три большие группы:

1. Самопроизвольные процессы, которые можно использовать для получения энергии или совершения работы. Условиями протекания самопроизвольных процессов являются: а) в изолированной системе, т.е. в системе, для которой исключен любой материальный или энергетический обмен с окружающей средой, сумма всех видов энергии есть величина постоянная; б) изменение энтальпии (тепловой эффект процесса,  $\Delta H$ ) зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов и не зависит от пути перехода. Такая зависимость носит название закона Гесса, сформулированного Гессом в 1840 г.

2. Процессы, для осуществления которых требуется затрата энергии или совершение работы.

3. Самоорганизация химической системы, т.е. самопроизвольный процесс, проходящий без изменения энергетического запаса системы, совершается только в направлении, при котором порядок в системе уменьшается, т.е. где беспорядок возрастает ( $\Delta S > 0$ ).

Способность к взаимодействию различных химических реагентов определяется не только их атомно-молекулярной структурой, но и условиями протекания химических реакций. Процесс превращения одних веществ в другие называется химической реакцией. К условиям протекания химических процессов относятся прежде всего термодинамические факторы, характеризующие зависимость реакций от температуры, давления и некоторых других условий. На скорость химической реакции также влияют следующие условия и параметры:

1) **природа реагирующих веществ** (например, щелочные металлы растворяются в воде с образованием щелочей и выделением водорода и реакция протекает при обычных условиях моментально; цинк, железо и другие реагируют медленно и с образованием оксидов, а благородные металлы не реагируют вообще);

2) **температура** (при повышении температуры на каждые  $10^\circ\text{C}$  скорость реакции увеличивается в 2–4 раза — правило Вант-Гоффа). Со многими веществами кислород начинает реагировать с заметной скоростью уже при обыкновенной температуре (медленное окисление). При повышении температуры начинается бурная реакция (горение);

3) **концентрация** (для веществ в растворенном состоянии и газов скорость химических реакций зависит от концентрации реагирующих веществ. Горение веществ в чистом кислороде происходит интенсивнее, чем в воздухе, где концентрация кислорода почти в 5 раз меньше). Здесь справедлив закон действующих масс: при постоянной температуре скорость химической реакции прямо пропорционально произведению концентрации реагирующих веществ;

4) **площадь поверхности реагирования** (для веществ в твердом состоянии — скорость прямо пропорциональна поверхности реагирующих веществ. Железо и сера в твердом состоянии реагируют достаточно быстро лишь при предварительном измельчении и перемешивании: горение хвороста и полена);

5) **катализатор** (скорость реакции зависит от катализаторов, веществ, которые ускоряют химические реакции, но сами при этом не расходуются. Разложение бертолетовой соли и пероксида водорода ускоряется в присутствии оксида марганца (IV) и др.).

Для вступления в химическую реакцию необходимо преодолеть некоторый энергетический барьер, соответствующий энергии активации, возможность накопления которой сильно зависит от температуры. Многие реакции долгое время не могут закончиться. В таком случае говорят, что реакция достигла химического равновесия. Химическая система находится в состоянии равновесия, если выполняются следующие три условия:

1) в системе не происходит энергетических изменений ( $\Delta H = 0$ );

2) не происходит изменений степени беспорядка ( $\Delta S = 0$ );

3) не изменяется изобарный потенциал ( $\Delta J = 0$ ).

Вант-Гофф, используя термодинамический подход, классифицировал химические реакции, а также сформулировал основные положения химической кинетики. Химическая кинетика изучает скорости протекания химических реакций. Ле Шателье сформулировал закон смещения химического равновесия в химических реакциях под влиянием внешних факторов — температуры, давления и др. Согласно принципу Ле Шателье: если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказывается внешнее воздействие (изменяется температура, давление или концентрация), то положение равновесия химической реакции смещается в ту сторону, которая ослабляет данное воздействие.

Химические реакции классифицируют по изменению качества исходных веществ и продуктов реакции на следующие виды:

— реакции *соединения* — реакции, при которых из нескольких веществ образуется одно вещество, более сложное, чем исходные;

— *разложения* — реакции, при которых из одного сложного вещества образуется несколько веществ;

— *замещения* — реакции, при которых атомы одного элемента замещают атом другого элемента в сложном веществе и при этом образуются два новых — простое и сложное;

— *обмена* — реакции, при которых реагирующие вещества обмениваются своими составными частями, в результате чего из двух сложных веществ образуются два новых сложных вещества.

По тепловому эффекту химические реакции можно разделить на *экзотермические* — с выделением теплоты и *эндотермические* — с поглощением теплоты. С учетом явления катализа реакции могут быть *каталитические* — с применением катализаторов и *некаталитические* — без применения катализаторов. По признаку обратимости реакции делят на *обратимые* и *необратимые*.

Оствальд, исследуя условия химического равновесия, пришел к открытию явления катализа. Оказалось, что в большой степени характер и особенно скорость реакций зависят от кинетических условий, которые определяются наличием катализаторов и других добавок к реагентам, а также влиянием растворителей, стенок реактора и иных условий. Явление катализа — селективного ускорения химических процессов в присутствии веществ (катализаторов), которые принимают участие в промежуточных процессах, но регенерируются в конце реакции, широко используется в промышленности. Например, промышленное получение аммиака, контактный способ производства серной кислоты и многие другие. Впервые синтез аммиака был осуществлен в 1918 г. на основе работ Габера, Боше и Митташа с помощью катализатора, представляющего собой металлическое железо с добавками окисей калия и алюминия, при температуре 450–550 °С и давлении 300–1000 атм. В настоящее время большое внимание уделяют применению металлорганических и металлокомплексных катализаторов, отличающихся высокой селективностью и избирательностью действия. Тот же самый процесс синтеза аммиака при использовании металлорганического катализатора удалось осуществить при обычной температуре

(18 °С) и нормальном атмосферном давлении, что открывает большие перспективы в производстве минеральных азотных удобрений. Особенно велика роль катализа в органическом синтезе. Крупнейшим успехом в этом направлении надо признать получение искусственного и синтетического каучука из этилового спирта, осуществленное советским академиком С. В. Лебедевым в 20-х гг. XX в.

Ферменты, или биокатализаторы, играют исключительную роль в биологических процессах и в технологии веществ растительного и животного происхождения, а также в медицине. Сегодня известно свыше 750 ферментов, и их число ежегодно увеличивается. Ферменты являются бифункциональными и полифункциональными катализаторами, так как здесь имеет место согласованное воздействие двух или нескольких групп катализаторов различной природы в составе активного центра фермента на поляризацию определенных связей субстрата. Эта же концепция лежит в основе каталитического действия фермента и теории кинетики действия ферментов. Главное отличие ферментов от других катализаторов заключается в исключительно высокой активности и резко выраженной специфичности.

Самоорганизация химических систем в биологические, их единство и взаимосвязь подтверждает синтез органических соединений из неорганических. В 1824 г. немецкий химик Ф. Велер, ученик Берцелиуса, впервые получил из неорганического дициана  $\text{NCCN}$  при нагревании его с водой щавелевую кислоту  $\text{HOOC}-\text{COOH}$  — органическое соединение. Таким же образом из цианистого аммония было получено новое органическое вещество — мочеви́на (карбамид). В 1854 г. во Франции М. Бертло синтетическим путем получил жир. Наибольшим успехом химии в 50—60 гг. XX в. явился первый синтез простых белков — гормона инсулина и фермента рибонуклеазы.

## Выводы

1. Все то, из чего состоит окружающая известная сейчас и познаваемая нами часть Вселенной, называют материей. *Философское определение материи* — это объективная реальность вне и независимо от человеческого сознания и отображаемая им. Материя существует в различных формах, например вещество, поле.

2. *Вещества Вселенной* при различных температурах и давлениях могут находиться в *четырёх агрегатных состояниях*: твердом, жидком, газообразном и плазменном.



3. Состав, структуру вещества и закономерности их взаимопревращений изучает химия, которая является одним из разделов естествознания.

4. Основой химической науки является атомно-молекулярное учение, закон сохранения материи, периодический закон, теория строения вещества, учение о химическом процессе.

5. Вещество состоит из молекул, а молекулы из атомов. Атомы в молекулах удерживаются химическими связями. Химические связи отличаются насыщенностью. Валентность атомов определяет характер строения и химические свойства молекул.

6. Структура вещества, под которой понимают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, определяет целостные ее свойства.

7. Для вступления в химическую реакцию необходимо преодолеть некоторый энергетический барьер, соответствующий энергии активации, возможность накопления которой сильно зависит от температуры. К условиям протекания химических процессов относятся прежде всего термодинамические факторы, характеризующие зависимость реакций от температуры, давления и некоторых других условий. В еще большей степени характер и особенно скорость реакций зависят от кинетических условий, которые определяются наличием катализаторов и других добавок к реагентам, а также влиянием растворителей, стенок реактора и иных условий.

8. Актуальными проблемами современной химии являются вопросы самоорганизации и эволюции химических систем, использование катализа и биокатализа.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Все наши знания — прошлые, настоящие  
и будущие — ничто по сравнению с тем,  
о чем мы никогда не узнаем.

*К. Э. Циолковский*

### План семинара

1. Философское понятие материи и естественно-научные знания о ее строении и свойствах.

2. Химия как раздел естествознания. Состав, структура вещества и химические системы.

3. Химические процессы, самоорганизация и эволюция химических систем.

4. Энергия и ее виды. Законы сохранения и их связь со свойствами пространства и времени.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Автокатализ** — химические реакции, в которых для синтеза определенного вещества требуется присутствие этого же вещества, которое ускоряет химическую реакцию, играет роль катализатора.

**Атомный номер** — номер химического элемента в таблице Менделеева.

**Аллотропия** — способность химического элемента образовывать несколько простых веществ, отличающихся по строению и свойствам (алмаз, графит).

**Валентность** (лат. «valentia» — сила) — способность атома данного химического элемента к образованию химических связей с атомами других элементов. Величина валентности определяется числом атомов водорода, с которыми может соединиться данный атом (или заменить их в другом соединении). Валентность водорода принято считать равной единице.

Валентность атома азота в соединении $\text{NH}_3$ равна 3	Валентность атома кислорода в соединении $\text{H}_2\text{O}$ равна 2
$\begin{array}{c} \text{H} - \text{N} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H} - \text{O} - \text{H}$

Валентность атома связана с его строением, так как в образовании химической связи участвуют электроны внешней электронной оболочки атома. Максимальная валентность элемента обычно равна номеру группы в периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

**Вещество** — вид материи; то, из чего состоит весь окружающий мир.

**Вещество простое** — состоит из частиц (атомов и молекул), образованных атомами одного химического элемента. Например:  $\text{O}_2$  — кислород,  $\text{O}_3$  — озон, S — сера, Ne — неон.

**Вещество сложное** — состоит из частиц, образованных атомами различных химических элементов. Например:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — серная кислота,  $\text{FeS}$  — сульфид железа,  $\text{CH}_4$  — метан.

**Вещество чистое** — вещество, состоящее из одинаковых частиц (молекул, атомов, ионов), обладающее определенными специфическими свойствами.

**Вещество неорганическое** — это химические соединения, образуемые всеми химическими элементами (кроме соединений углерода, относящихся к органическим веществам).

**Вещество органическое** — это соединения углерода с некоторыми другими элементами: водородом, кислородом, азотом, серой. Из соединений углерода к органическим не относятся оксиды углерода, угольная кислота и ее соли, являющиеся неорганическими соединениями. Название «органические» соединения получили в связи с тем, что первые представители этой группы веществ были выделены из тканей организмов. К ним относятся нуклеиновые кислоты, белки, углеводы, липиды, гормоны, витамины и др. В настоящее время известно более 10 млн органических соединений, имеющих природное происхождение.

**Катализ** (греч. «katalysis» — разрушение) — возбуждение химических реакций или изменение скорости их протекания посредством добавления особых веществ — катализаторов, не участвующих непосредственно в реакции, но изменяющих ход ее протекания.

**Моль** — количество вещества определенной химической формулы, содержащее то же число формульных единиц (атомов, молекул, ионов и др.), какое имеется в 12 г чистого изотопа  $^{12}\text{C}$ , а именно  $6,02 \cdot 10^{23}$ .

**Орбиталь** — область в пространстве, в которой вероятность пребывания электрона максимальна.

**Кросс-катализ** (букв. перекрестный катализ) — химические реакции, при которых два вещества помогают взаимному синтезу друг друга.

**Материя** (лат. «materia») — все, из чего состоит окружающий мир, множество явлений, объектов и их систем, носитель всех разнообразных свойств, отношений, взаимодействий объектов и форм движения. Все существующее в природе материально. Многообразные явления в мире представляют собой различные виды движения материи.

**Процесс** (лат. «processus» — продвижение) — последовательная смена состояний, тесная связь следующих друг за другом стадий развития, представляющая непрерывное, единое движение.

**Синтез** (греч. «synthesis» — соединение, сочетание) — в химии — получение сложных органических соединений из более простых.

**Химия** — наука, изучающая вещества и процессы их превращения, сопровождающиеся изменением состава и структуры.

**Химическим элементом** называют вещество, все атомы которого обладают одинаковым зарядом ядра.

**Молекула** наименьшая частица вещества, которая определяет его свойства и может существовать самостоятельно.

**Химическая связь** — явление взаимодействия между атомами, выражающееся в создании определенной конфигурации атомов, отличающей один тип молекулы от другого.

**Энергия** — способность тела совершить работу.

**Изомеры** (греч. «изо» + «meros» — доля, часть) — химические соединения, одинаковые по молекулярной массе и составу, но различающиеся по строению.

### Задачи и упражнения

1. Исходя из валентности элементов, установить формулу соединения, которое состоит из атомов двух элементов, например бора и кислорода.

**Решение.** Бор трехвалентен, кислород двухвалентен. Входящие в состав химического соединения атомы не могут иметь свободных валентностей. Следовательно, сумма валентностей атомов бора должна быть равна общему числу валентностей у атомов кислорода. Таким образом, общее число валентностей как у бора, так и кислорода должно быть равно 6, что соответствует наименьшему кратному. Так как каждый атом бора трехвалентен, то в молекуле должно содержаться 2 атома бора. Аналогично находим, что число атомов кислорода равно 3 ( $6 : 2 = 3$ ). Следовательно, формула соединения бора с кислородом будет  $B_2O_3$ .

2. Найти энергию, выделяющуюся:

а) при делении урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$  (масса урана 1 кг, при каждом акте деления выделяется энергия  $E_0 = 200$  МэВ);

б) при реакции термоядерного синтеза гелия из ядер дейтронов  ${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He}$  (масса получившегося гелия 1 кг).

*Решение.*

а) так как в 1 кг урана содержится ядер атомов урана

$$N = \frac{m_U}{A_U} N_A \quad (N_A - \text{число Авогадро}), \text{ то } \Delta E_1 = \frac{m_U N_A}{M_U} = \\ = 5,13 \cdot 10^{26} \text{ МэВ} = 8,2 \cdot 10^{13} \text{ Дж};$$

б) воспользовавшись уравнением термоядерной реакции, получим

$$\Delta E_2 = (2m_D - m_{\text{He}}) c^2 \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A = 34,2 \cdot 10^{26} \text{ МэВ} = 54,72 \cdot 10^{13} \text{ Дж}.$$

### Тестовые задания

1. Существование химического элемента в виде нескольких простых веществ называется

- а) изотропностью;
- б) изобарностью;
- в) автокатализом;
- г) аллотропией;
- д) изохорностью.

2. Кто открыл закон постоянства состава?

- а) Бертолле;
- б) Пруст;
- в) Дальтон;
- г) Бутлеров;
- д) Менделеев.

3. Кто установил закон кратных отношений?

- а) Бертолле;
- б) Пруст;
- в) Дальтон;
- г) Бутлеров;
- д) Менделеев.

4. Чем характеризуются изотопы?

- а) числом протонов в ядре при данном числе нейтронов;
- б) количеством нейтронов в ядре при данном числе протонов;
- в) числом протонов в ядре при данном числе электронов в атоме;
- г) числом электронов в атоме при данном числе протонов в ядре;
- д) количеством нейтронов в ядре при данном числе электронов в атоме.

5. Химический процесс сопровождается
- а) изменением состава вещества;
  - б) изменением структуры вещества;
  - в) энергетическими изменениями в реагирующей системе;
  - г) всеми отмеченными выше изменениями;
  - д) только изменениями 1 и 2;
  - е) только изменениями 1 и 3.
6. Какое из квантовых чисел не описывает состояние атома?
- а) главное;
  - б) орбитальное;
  - в) магнитное;
  - г) спиновое;
  - д) основное.
7. Согласно какому закону происходит заполнение электронами атомов?
- а) закон Эйнштейна;
  - б) правилу Ленца;
  - в) принципу неопределенности;
  - г) принципу Паули;
  - д) постулатам Бора.
8. Атом элемента имеет порядковый номер 14 и массовое число 28. Число валентных электронов у него равно:
- а) 4;   б) 5;   в) 2;   г) 1;   д) 3.
9. Какой из законов сохранения является следствием изотропности пространства?
- а) закон сохранения массы;
  - б) закон сохранения импульса;
  - в) закон сохранения заряда;
  - г) закон сохранения энергии;
  - д) закон сохранения момента импульса.
10. Какой из законов сохранения является следствием однородности пространства?
- а) закон сохранения массы;
  - б) закон сохранения импульса;
  - в) закон сохранения заряда;
  - г) закон сохранения энергии;
  - д) закон сохранения момента импульса.

11. Какой из законов сохранения есть следствие однородности времени?

- а) закон сохранения массы;
- б) закон сохранения импульса;
- в) закон сохранения заряда;
- г) закон сохранения энергии;
- д) закон сохранения момента импульса.

12. Во сколько раз уменьшится скорость химической реакции при понижении температуры на  $30\text{ }^{\circ}\text{K}$ , если температурный коэффициент равен 3?

- а) 27; б) 15; в) 3; г) 9; д) 6.

13. Во сколько раз возрастает скорость химической реакции при повышении температуры на  $20\text{ }^{\circ}\text{K}$ , если температурный коэффициент равен 2?

- а) 4; б) 3; в) 2; г) 8; д) 16.

14. В каком из следующих процессов выделяется больше всего удельной энергии?

- а) деление ядер тяжелых элементов;
- б) термоядерном синтезе легких ядер;
- в) взрыв гексана, тротила, пороха;
- г) аннигиляции частицы и античастицы;
- д) гравитационном коллапсе звезды в «черную дыру»;
- е) радиоактивном распаде элементов.

15. Как называются вещества, имеющие одинаковый состав, но различные свойства?

- а) изотопы;
- б) изомеры;
- в) изотропные;
- г) ферменты;
- д) автокатализ.

16. Кто сделал первую попытку систематизации химических элементов?

- а) Деберейнер;
- б) Ньюлендс;
- в) Ломоносов;
- г) Дальтон;
- д) Менделеев.

17. От каких факторов не зависит скорость химических реакций?

- а) температуры;
  - б) концентрации;
  - в) площади соприкосновения;
  - г) катализаторов;
  - д) молярной массы.
18. Что определяет место химических элементов в периодической системе в соответствии с идеей Д. И. Менделеева?
- а) заряд атома;
  - б) число протонов в ядре;
  - в) число валентных электронов;
  - г) число нейтронов;
  - д) атомная масса.
19. Сколько химических элементов было известно во времена Д. И. Менделеева?
- а) 59; б) 70; в) 63; г) 75; д) 114.
20. Чем определяются химические свойства вещества?
- а) составом;
  - б) структурой;
  - в) строением;
  - г) всеми отмеченными;
  - д) ни одним из них.
21. Кто впервые указал на зависимость свойств вещества от их состава?
- а) Пруст;
  - б) Бутлеров;
  - в) Дальтон;
  - г) Авогадро;
  - д) Менделеев.
22. Чем обуславливаются химические свойства атомов в соединениях?
- а) числом электронов атома;
  - б) число протонов в ядре;
  - в) количеством валентных электронов;
  - г) числом нейтронов в ядре;
  - д) всеми указанными факторами.
23. Какова роль катализатора в химических реакциях?
- а) скорость химической реакции не меняется;
  - б) ускоряет процесс;
  - в) замедляет процесс;



- г) останавливает процесс;
- д) не влияет на процесс.

24. Как изменяется температура вещества от начала процесса кристаллизации до его окончания?

- а) понижается;
- б) повышается;
- в) у одних веществ повышается, у других понижается;
- г) остается неизменной;
- д) среди ответов а) — г) нет правильного.

25. Общая мощность излучения Солнца составляет около  $3,8 \cdot 10^{26}$  Дж/с. На сколько уменьшается масса Солнца за 1 с? ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с)

- а)  $8,4 \cdot 10^9$  кг;
- б)  $4,2 \cdot 10^9$  кг;
- в)  $8,4 \cdot 10^{10}$  кг;
- г)  $4,2 \cdot 10^{10}$  кг;
- д) масса Солнца не изменяется.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. В чем качественная особенность философского определения материи от естественно-научного понимания?
2. Какими всеобщими свойствами обладает материя?
3. Какие основные формы и виды материи вы знаете?
4. Какое вещество называется простым и сложным?
5. Какая связь существует между атомным весом и зарядом ядра атома?
6. Перечислите основные уровни химических структур.
7. От чего зависит динамика химических процессов?
8. Какие вещества называют катализаторами?
9. Какую роль играет катализ в эволюции химических систем?
10. Какие законы физики относятся к великим законам сохранения?
11. В чем смысл теоремы Э. Нетер?
12. Какие виды энергии вам известны?
13. Какова природа химической связи, ее особенности?
14. Чем определяются химические свойства вещества?
15. Как объяснялись свойства в процессе эволюции химических знаний?
16. Кто впервые указал на зависимость свойств вещества от их состава?
17. В чем сущность теории Бутлерова?

18. Назовите основные направления в развитии учения о составе вещества.

19. Кто сделал первую попытку систематизации химических элементов?

20. Что такое химический элемент?

21. Что определяет место химических элементов в периодической системе в соответствии с идеей Д. И. Менделеева?

22. Сколько химических элементов было известно во времена Д. И. Менделеева?

23. Сформулируйте закон постоянства состава.

24. Чем обуславливаются химические свойства атомов в соединениях?

25. Сколько примерно химических соединений известно в настоящее время?

26. Что означает структура молекул согласно современным представлениям?

27. Каковы основные задачи современной химии?

28. Какие функции выполняют ферменты?

29. Назовите основные этапы эволюции химических систем.

30. Назовите основные перспективные направления развития современной химии.

31. Чем обуславливается важность развития энергетики?

32. Дайте краткую характеристику традиционных источников энергии.

33. Каковы перспективы развития атомной энергетики?

34. Какими факторами обуславливается относительно медленное развитие гелиоэнергетики?

35. Каковы перспективы широкого использования источников энергии ветра, мирового океана и геотермальных источников?

36. Почему принято считать, что с образованием всей гаммы химических элементов во Вселенной открылся качественно новый этап в развитии вещества и в формировании ее структур?

37. От каких факторов зависит активность химических процессов?

38. Как называются химические соединения постоянно-го состава?

39. Какое общее название носят химические соединения переменного состава?

40. Чем обуславливается химическая связь и свойства атомов?

41. Назовите основные химические элементы, входящие в состав физически доступного слоя Земли.

42. Какие химические соединения составляют 99% всей массы земной коры?

43. Сколько металла на каждого жителя производится в мире ежегодно?

44. Почему замена металла керамикой считается перспективной?

45. Каковы свойства керамики?

46. Как называется искусственный сверхтвердый материал?

### Тематика рефератов

1. Основные проблемы современной химии.
2. Происхождение и распространенность химических элементов.
3. Проблемы соотношения вещества и поля, материи и энергии.
4. Роль симметрии и асимметрии в научном познании.
5. Проблемы соотношения сохранения и эволюции.
6. Естественно-научная концепция развития химических знаний.
7. Основные химические свойства вещества.
8. Развитие учения о составе вещества.
9. Периодическая система Д. И. Менделеева и квантово-механическое объяснение структуры атомов.
10. Многообразие химических соединений.
11. Катализ в химических процессах.
12. Достижения химии экстремальных состояний.
13. Роль химии в сохранении окружающей среды.
14. Органические и неорганические соединения в живых организмах.
15. Химическая сущность процессов жизнедеятельности.
16. Основные задачи современной химии.
17. Возможности современной химии и химии будущего.

### Литература

1. Гусейханов, М.К. Концепции современного естествознания / М.К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.

2. *Карпенков, С.Х.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 340 с.

3. *Карапетьянц, М.Х.* Строение ещества / М.Х. Карапетьянц, С.И. Дракин. — М., 1970.

4. *Менделеев, Д.И.* Основы химии. — М., 1947.

## Глава 9

# ПРИРОДА МЕГАМИРА

### 9.1. Методы определения параметров мегамира

Пути, которыми люди проникают в суть небесных явлений, представляются мне почти столь же удивительными, как и сами эти явления.

*И. Кеплер*

Вопрос о том, что представляет собой Космос, окружающий Землю, нельзя было решить раньше, чем были определены расстояния до небесных тел. И это уточнение масштабов мира продолжалось почти 2500 лет. Какими только единицами ни измерялись эти расстояния, начиная от греческих стадий и кончая сегодняшними мегапарсеками. Оставим эволюцию методов измерения расстояния до небесных тел и рассмотрим основные методы, с помощью которых определим геометрические размеры Космоса и расстояния до небесных тел. Прежде чем перейти к методам измерения, интересно взглянуть на сравнительную шкалу размеров во Вселенной (рис. 9.1).

Основным методом измерения расстояния до небесных тел является метод параллактического смещения или тригонометрического параллакса, когда измеряется угол, под которым наблюдается небесное тело, до которого определяется расстояние, с различных точек наблюдения. Расстояние между точками называют базисом. Зная величину базиса и угла наблюдения, по формулам тригонометрии можно определить расстояние до небесного тела. Угол, под которым виден базис с небесного тела, до которого определяется расстояние, называется **параллаксом**. При данном расстоянии до небесного тела параллакс тем больше, чем больше базис.



**Рис. 9.1. Сравнительная шкала размеров во Вселенной (по оси показатель степени десяти)**

В пределах Солнечной системы в качестве базиса используют радиус Земли, и метод измерения расстояний называют методом **суточного параллакса**. Угол, под которым со светила, находящегося на горизонте, был бы виден радиус Земли, называется горизонтальным суточным параллаксом светила. Конечно, со светила никто не наблюдает радиус Земли, а горизонтальный параллакс определяют по измерениям максимальной высоты светила из двух точек земной поверхности, находящихся на одном географическом меридиане и имеющих известные географические широты.

Наибольший горизонтальный суточный параллакс имеет ближайшее к Земле небесное тело — Луна ( $P_{\text{л}} = 57'$ ). Параллаксы планет и Солнца составляют всего лишь несколько секунд ( $P_{\text{с}} = 8'', 8$ ). Масштабы расстояний в мире небесных тел заставляют астрономов пользоваться гораздо более крупными единицами измерения расстояний, чем километры. Одной из таких единиц является **астрономическая единица** (а.е.), равная среднему расстоянию от Солнца до Земли ( $1 \text{ а.е.} = 149,6 \text{ млн км}$ ). До Меркурия от Солнца =  $0,4 \text{ а.е.}$ , а расстояние до самой далекой планеты Плутон можно принять как размер Солнечной системы и равно примерно  $40 \text{ а.е.}$

Во второй половине XX в. возникла идея непосредственного метода определения расстояния до небесных тел. Он заключается в том, что на небесное тело посылают мощный кратковременный радиоимпульс, а затем принимают отраженный сигнал. Зная скорость распространения света в вакууме  $c = 300\,000 \text{ км/с}$  и время распространения, определяют расстояние. Радиолокационные наблюдения позволяют

с большей точностью определить расстояние до небесных тел в Солнечной системе. Этим методом уточнены расстояния до Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера. Вскоре после изобретения мощных источников светового излучения — оптических квантовых генераторов (лазеров) — стали проводить опыты по лазерной локации Луны. Метод лазерной локации аналогичен радиолокации, однако точность измерения значительно выше. Оптическая лазерная локация дает возможность определить расстояние между выбранными точками лунной и земной поверхностей с точностью до сантиметров, что позволяет изучить рельеф поверхности небесных тел.

Метод параллакса пригоден и для определения расстояний до ближайших звезд. Только в качестве базиса используется не радиус Земли, а средний радиус земной орбиты и метод определения расстояния до звезд по углу, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты, называют **годовым параллаксом** (рис. 9.2).

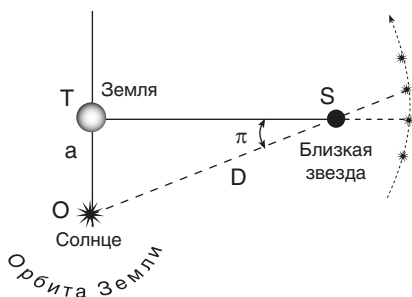


Рис. 9.2. Годичный параллакс звезды

Расстояние до звезды, которое соответствует годовому параллаксу в  $1''$ , называется парсеком (от слов «параллакс» и «секунда», обозначается пк.  $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.е.}$ ). Эта единица используется в звездной астрономии, так как не только километр, но даже астрономическая единица (а.е.) слишком малы для измерения расстояний до звезд. Самая близкая к нам звезда после Солнца находится в созвездии Центавра (Проксима Центавра или Кентавра). Ее годичный параллакс —  $0,76''$ , что соответствует  $1,33 \text{ пк}$ . Ниже дано соотношение между километром, астрономической единицей, парсеком и световым годом, расстоянием, которое свет проходит за год:

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. года} = 206\,265 \text{ а.е.} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

Измерение параллактического смещения звезд хотя и очень трудоемко, но является самым надежным, фундаментальным способом определения расстояний до них. Естественно, что это смещение заметно только у сравнительно близких звезд. На современном этапе оно определяется по четырем фотографиям звездного неба, полученным на протяжении года через интервалы времени в три месяца. К настоящему времени тригонометрические параллаксы определены примерно у 7500 звезд.

Расстояние до более далеких звезд определяется по периоду изменения блеска (светимости) звезд — цефеид. Цефеиды — это пульсирующие звезды, которые периодически раздуваются и сжимаются. Между периодом ( $P$ ) пульсации долгопериодических цефеид и светимостью этих звезд существует зависимость, получившая название «период — светимость». Если из наблюдений известен период изменения блеска цефеиды, то, пользуясь зависимостью период — светимость, можно определить ее абсолютную звездную величину ( $M$ ), которая равна видимой звездной величине ( $m$ ) этой звезды с расстояния 10 пк, по формуле  $M = 0,2 (2 - \lg P)$ . Тогда по формуле  $\lg r = 0,2 (m - M) + 1$  легко вычислить расстояние до цефеиды, зная из наблюдений ее видимую звездную величину ( $m$ ). Так как цефеиды относятся к звездам — гигантам и сверхгигантам (т.е. тем, которые имеют огромные размеры и светимости), то они видны с больших расстояний. Обнаруживая цефеиды в далеких звездных системах, можно определить расстояние до этих систем.

До более далеких галактик, где наблюдаются вспышки сверхновых звезд (у которых происходит внезапное резкое увеличение светимости), расстояние можно оценить, исходя из того, что все сверхновые звезды, как это следует из наблюдений, имеют примерно одинаковую абсолютную звездную величину в максимуме блеска  $M_{\max}$ . В этом случае по наблюдаемой величине  $M_{\max}$  можно найти модуль расстояния и расстояние до этой галактики.

Имеются и другие способы определения расстояний до галактик, но остановимся лишь на одном, применяемом для оценки расстояний до далеких галактик, особенно тех далеких галактик, которые не разрешимы на звезды из-за их дальности от нас.

В спектрах далеких галактик спектральные линии смещены в сторону красного конца спектра. Это явление по-



лучило название **красного смещения** и вызвано удалением галактик. В 1929 г. американский астрофизик Э. Хаббл установил закономерность, называемую ныне **законом Хаббла**: лучевые скорости галактик ( $V_r$ ) пропорциональны расстояниям до них ( $r$ ):  $V_r = Hr$ . В этом законе коэффициент пропорциональности  $H$  называется постоянной Хаббла. Расстояния до далеких галактик оказались настолько большими, что их приходится выражать не в парсеках (пк) и килопарсеках (кпк), а в мегапарсеках (Мпк). В настоящее время значение красного смещения измерено в спектрах более 15 000 галактик, причем оказалось, что лучевые скорости наиболее далеких превышают 100 000 км/с, а их расстояния составляют сотни и тысячи мегапарсеков, т.е. свет от них доходит до нас за сотни миллионов и миллиарды лет.

Для определения масс небесных тел важное значение имеет обобщение Исааком Ньютоном третьего закона Кеплера на любые системы обращающихся тел. Если, в частности, массивным (центральным) телом является Солнце с массой  $M_C$ , то для него и двух движущихся вокруг него планет с массами  $m_1$  и  $m_2$  третий закон Кеплера будет иметь вид:

$$\frac{T_1^2(M_C + m_1)}{T_2^2(M_C + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

т.е. квадраты периодов обращения ( $T_1^2$  и  $T_2^2$ ), умноженные на сумму масс Солнца и планеты ( $M_C + m_1$  и  $M_C + m_2$ ), относятся как кубы больших полуосей орбит планет ( $a_1^3$  и  $a_2^3$ ). Можно применить третий закон Кеплера и к другим системам, например к движению планет вокруг Солнца и спутника вокруг планет. Обозначим массы Солнца, планеты и ее спутника соответственно через  $M_C$ ,  $m$  и  $m_1$ , периоды обращения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты — через  $T$  и  $T_1$  и средние расстояния планеты от Солнца и спутника от планеты — через  $a$  и  $a_1$ . Тогда **третий закон Кеплера** можно записать в виде:

$$\frac{T^2(M_C + m)}{T_1^2(m + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}.$$

Масса Солнца больше, чем сумма масс всех тел Солнечной системы в 750 раз, больше массы Юпитера в 1050 раз и превышает массу Земли в 330 000 раз, т.е.  $M_C \gg m$ . Масса планеты обычно также очень велика по сравнению с массой спутника (исключение составляют Земля и Луна, а также

Плутон с его спутником Хароном), т.е.  $m \gg m_1$ . Поэтому с достаточной степенью точности можно вычислить отношение массы Солнца к массе планеты по формуле

$$\frac{M_{\text{С}}}{m} = (T_1 / T)^2 \times (a/a_1)^3.$$

Эта формула получена из рассмотрения движения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты. Аналогичный вид будет иметь формула для определения массы планеты, имеющей спутника, если эту систему небесных тел сравнить с другой планетой и ее спутником:

$$\frac{m^1}{m_1^1} = (T_1 / T)^2 \times (a^1/a_1^1)^3,$$

где  $m^1$  и  $m_1^1$  — массы сравниваемых планет;  $T$  и  $T_1$  — периоды обращения спутников планет;  $a^1$  и  $a_1^1$  — средние расстояния между спутниками планет. Массы небесных тел, не имеющих спутников, определяют по величине силы притяжения, которое оказывает данное небесное тело на другие небесные тела. Отклонения в движении небесного тела под действием притяжения со стороны небесного тела, массу которого необходимо измерить, называют в небесной механике возмущениями. По величине возмущения можно определить массу неизвестного небесного тела. Примером этого является открытие Нептуна и Плутона. Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн известны людям с глубокой древности. Планету, находящуюся за орбитой Сатурна и не видимую невооруженным глазом, открыл в 1781 г. с помощью телескопа английский астроном (профессиональный музыкант, который начал заниматься астрономией как любитель) Уильям Гершель. Она была названа Ураном. Основываясь на законах небесной механики, астрономы вычислили орбиту Урана, но довольно скоро выяснилось, что в движении новой планеты заметны отклонения от кеплеровской орбиты. Наблюдаемые отклонения могли означать либо то, что действие закона всемирного тяготения ограничено лишь близкими планетами, либо то, что за Ураном есть еще какая-нибудь планета, возмущающая его движение. Определив величину возмущения, астрономы решили попытаться открыть новую планету, вычислив ее положение в пространстве. Независимо друг от друга такую задачу удалось решить двум молодым математикам — англичанину Джону Адамсу и французу Урбену Леверье. Астроном Берлинской обсерватории Иоганн Галле, получив телеграмму

от Леверье с просьбой поискать планету в указанном месте, 23 сентября 1846 г. обнаружил в созвездии Водолея светило, которого не было на звездной карте. Так была открыта восьмая планета Солнечной системы. Это был триумф небесной механики, торжество гелиоцентрической системы. Таким же образом по возмущениям Нептуна американский астрофизик Ловелл вычислил, а Томбо в 1930 г. обнаружил девятую планету Солнечной системы — Плутон.

Массы звезд определяют также из наблюдений двойных звезд. К системам двойных звезд применимы закон всемирного тяготения и обобщенные Ньютоном законы Кеплера. Пусть массы главной звезды с большей массой  $M_1$ , а ее спутника, обращающегося вокруг главной,  $\sim M_2$ , период обращения спутника обозначим через  $T$ , большую полуось орбиты спутника через  $A$ . Тогда, обозначив через  $M_C$  и  $M_3$  массы Солнца и Земли,  $T_3$  — период обращения Земли,  $a$  — большую полуось земной орбиты, можно написать:

$$\frac{(M_1 + M_2)T^2}{(M_C + M_3)T_3^2} = \frac{A^3}{a^3}.$$

Если принять массу Солнца за единицу ( $M_C = 1$ ) и учесть, что  $M_3 \ll M_C$ ,  $T_3 = 1$  год,  $a = 1$  а.е., то

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{T^2}.$$

Величина  $A$  связана с годичным параллаксом звезды ( $\pi$ ) и угловым расстоянием между компонентами ( $\alpha$ ) простым соотношением:

$$A = a/\pi,$$

где  $a$  и  $\pi$  выражены в секундах дуги, а расстояние  $A$  — в астрономических единицах. Тогда  $M_1 + M_2 = \frac{a^3}{\pi^3 p^2}$ .

Массы звезд в отличие от их светимостей и размеров различаются не очень сильно. Наиболее массивные звезды больше, чем Солнце, в 50—80 раз, а наименьшие по массам звезды составляют 0,05 массы Солнца, хотя в данном случае следует говорить уже не о звезде, а об объекте, по своей природе близком к планетам.

Температура, химический состав, физические свойства небесных тел изучают, используя методы спектрального анализа и законы абсолютно черного тела. Анализ электро-

магнитного излучения небесных тел является важнейшим методом изучения природы мегамира.

## 9.2. Земля как планета и природное тело

Ты разумом вникни поглубже, пойми,  
что значит для нас называться людьми...  
земное с небесным в тебе сплетено,  
два мира связать не тебе ли дано?

*Фирдоуси*

Земля кажется такой огромной, такой надежной и так много значит для нас, что мы не замечаем ее второстепенного положения в семье планет. Единственное слабое утешение состоит в том, что Земля — наибольшая из планет земной группы. К тому же она обладает атмосферой средней мощности, значительная часть земной поверхности покрыта тонким неоднородным слоем воды, а вокруг нее обращается величественный спутник, диаметр которого равен четверти земного диаметра (рис. 9.3). Однако этих аргументов вряд ли достаточно для того, чтобы поддерживать наше космическое самомнение. Крошечная по астрономическим масштабам Земля — это наша родная планета, и поэтому она заслуживает самого тщательного изучения.

По форме Земля близка к двuosному эллипсоиду. На XVI съезде Международного астрономического союза, состоявшемся в Гренобле (Франция) в августе 1976 г., приняты следующие элементы земного сфероида: экваториальный (наибольший) радиус  $R_э = 6378,140$  км, полярный (наименьший) радиус  $R_п = 6356,755$  км, различие в радиу-

сах  $R_э - R_п = 21,385$  км, сжатие  $\varepsilon = \frac{R_э - R_п}{R_э} = \frac{1}{298,257}$ .

Сфероид Земли близок к геоиду — поверхности океанов, продолженной под материками, в каждой точке которой перпендикуляр совпадает с направлением силы тяжести. За средний радиус Земли принимают  $R_{ср} = 6371$  км, который соответствует радиусу шара по объему равного объема эллипсоида Земли.

Относительно геоида производятся измерения высот на суше и глубин в океане. Наибольшую высоту над поверхностью мирового океана — 8848 км имеет вершина Джомо-

лунгма (Эверест), находящаяся в Гималаях (Евразия), а наибольшую глубину — 11 022 м — имеет Марианский жёлоб в Тихом океане.



*Рис. 9.3. Планета Земля со спутником*

Земля участвует в двух движениях, происходящих с запада на восток: она вращается вокруг собственной оси и обращается вокруг Солнца. Положение точки или тела на земной поверхности определяют с помощью географической сетки. Географическую сетку образуют полюса, параллели и меридианы. Точки пересечения оси вращения Земли с ее поверхностью называются географическими полюсами. Имеются северный и южный географические полюса. Большой круг земной поверхности, образованный пересечением плоскости, проходящей через центр Земли перпендикулярно оси ее вращения, называется экватором. Он делит земной шар на Северное и Южное полушария. Линии сечения поверхности Земли плоскостями, параллельными плоскости экватора, называются параллелями, а линии сечения, образованные плоскостями, проходящими через ось вращения Земли, — меридианами.

Для определения положения точки на земной поверхности используют две географические координаты: широту и долготу. Географическая широта ( $\varphi$ ) — это угол между плоскостью экватора и отвесной линией в точке, положение которой определяется. Широта отсчитывается в пределах от нуля (на экваторе) до  $90^\circ$  (на полюсах) в сторону Северного и Южного полюсов и называется соответственно северной и южной широтой. Географическая долгота ( $\lambda$ ) — это угол между нулевым (Гринвичским) меридианом и плоскостью меридиана, проходящего через точку, положение которой определяется. Долгота отсчитывается в пределах от нуля (на Гринвичском меридиане) до  $180^\circ$  на восток или на запад. Соответственно этому различают восточную или западную долготу. Орбита обращения Земли вокруг Солнца близка к окружности и представляет собой эллипс с малым эксцентриситетом ( $e = 0,017$ ). Солнце находится не в центре орбиты, а в одном из фо-

кусов эллипса. Поэтому на протяжении года расстояние от Солнца до Земли периодически меняется: от 147,1 млн км (3 января) до 152,1 млн км (4 июля). Большая полуось земной орбиты определяет среднее расстояние Земли от Солнца — 149,6 млн км. Фокус орбиты отстоит от центра эллипса на 2,5 млн км. Самая ближайшая к Солнцу точка земной орбиты называется *перигелием*, а самая далекая — *афелием*, *апогелием*.

Перпендикулярная к солнечным лучам поверхность Земли на среднем расстоянии от Земли до Солнца за последние 3 млрд лет получала одинаковое количество солнечной энергии. Поэтому ее называют Солнечной постоянной, она равна  $E_0 = 1360 \text{ Вт/м}^2$ . Однако количество поступающей солнечной энергии в данную точку земной поверхности в течение года изменяется. Поэтому на Земле происходит смена времен года. Это изменение количества энергии происходит по двум причинам. Из-за изменения расстояния от Земли до Солнца в перигелии (3 января) количество энергии, поступающее на Землю, на 7% больше, чем в афелии (4 июля). Более существенно изменяется солнечная энергия, поступающая на данную поверхность Земли, из-за изменения наклона падения солнечных лучей. Это происходит в течение года вследствие обращения Земли вокруг Солнца, наклона земной оси к плоскости орбиты под углом  $66^\circ 33'$  и сохранения этого наклона при обращении вокруг Солнца. Например, Москва в 4,6 раза больше получает солнечной энергии в день летнего солнцестояния 22 июня, чем в день зимнего солнцестояния 22 декабря. Количество падающей солнечной энергии зависит от географической широты и полуденной высоты Солнца над горизонтом.

В соответствии с видимым движением Солнца земная поверхность разделена на **тепловые (климатические) пояса**. Области земной поверхности, отстоящие от полюсов на  $23^\circ 27'$ , называются полярными кругами, или северным и южным холодным поясами. На границах полярных кругов один раз в году наблюдается полярный день и полярная ночь. Пояс земной поверхности, ограниченный по обе стороны от экватора географическими параллелями  $23^\circ 27'$  (северным и южным тропиками), называется жарким, или тропическим, поясом. В этом поясе два раза в год Солнце в полдень проходит через самый зенит и его лучи падают на земную поверхность отвесно. На самих тропиках Солнце проходит через зенит только один раз в год — 22 июня на се-

верном тропике и 22 декабря — на южном тропике. Между полярными кругами и тропиками лежат умеренные пояса; в них никогда не бывает полярных дней и ночей и Солнце никогда не проходит через зенит.

Данные геофизики, геологии, физической географии и других наук привели к выводу о том, что земной шар в своем строении состоит из ряда концентрических оболочек, или геосфер. Геосферы одна от другой отличаются по химическому составу и агрегатному состоянию вещества, что определяется термодинамическими условиями их существования. В направлении от центра земного шара к космическому пространству выделяются следующие геосферы: **литосфера, биосфера, гидросфера, атмосфера, магнитосфера**. Литосфера и атмосфера, в свою очередь, разделяются на ряд сферических слоев, неодинаковых по своим физическим свойствам.

Ниже приведены краткие данные о каждой сфере.

**Литосфера**, т.е. твердая сфера Земли, изучена методами анализа распространения сейсмических волн. Эти исследования показали, что плотность земных пород, увеличивающаяся к центру Земли, в некоторых местах дает скачкообразный рост. По этим изменениям строение Земли разделяют на **ядро, мантию и кору** (рис. 9.4). Причем внешнее ядро находится в расплавленном состоянии, внутри него имеется твердое ядро. Вещество внешнего ядра обладает свойствами тягучей жидкости и электропроводностью. Температура внутри Земли повышается с градиентом  $2^\circ$  на 100 м глубины. Причиной разогрева земного грунта является радиоактивный распад элементов в мантии. Сейчас считают, что кора вместе с гидросферой и атмосферой образовалась в результате вулканической деятельности — выбросов лавы, пара и газов из внутренних частей мантии. Вулканическая деятельность также привела к образованию гор. Возраст земной коры оценивается примерно в 3,8 млрд лет. В верхней части она образована осадочными, т.е. вторичными, породами, кое-где с участием молодых вулканогенных пород. В океанических впадинах под осадочными имеется базальтовый слой. У материков между осадочной толщей и базальтовым слоем залегает еще гранитный слой. Пересекая поверхность Мохоровичича, продольные сейсмические волны изменяют свою скорость скачкообразно: с 7,1 км/с на 8,1 км/с.

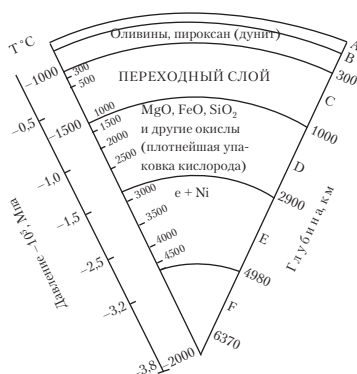


Рис. 9.4. Разрез земного шара:

A — земная кора; B, C, D — верхняя, средняя и нижняя мантии;  
E, F — внешнее и внутреннее ядра

Мощнейшие толщи вторичных пород (в том числе и преобразованных в граниты) земной коры — ярчайший показатель необычно высокой активности действующих на Земле экзогенных процессов по сравнению с процессами на других планетах. Природа щедро разбросала свои материальные ресурсы по нашей планете. Но если сравнить их с наиболее часто употребляемыми материалами, то нетрудно заметить между ними некую обратно пропорциональную зависимость: чаще всего человек использует те вещества, запасы сырья которых ограничены, и, наоборот, крайне слабо использует такие химические элементы и их соединения, сырьевые ресурсы которых почти безграничны. В самом деле, 98,6% массы физически доступного слоя Земли составляют всего восемь химических элементов. Картина их распределения представлена на рис. 9.5.

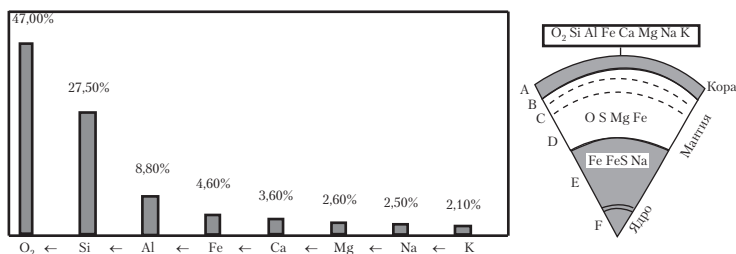


Рис. 9.5. Природное распределение элементов Земли



В морфоструктурном отношении Земля резко отличается от других планет, в частности, широким распространением линейных форм, которых там или вообще нет, кроме тектонических разломов, или они единичны и слабо выражены. Для человечества недра Земли являются кладовой полезных ископаемых. Их добыча из года в год растет, и в настоящее время человечество ежегодно извлекает из недр Земли более 1 млрд т железной руды, более 3 млрд т нефти, более 2,5 млрд т угля, миллиарды тонн строительных и других материалов.

Процесс формирования полезных ископаемых связан с эволюцией Земли. Одна из современных теорий, объясняющих динамику процессов в земной коре, называется теорией неомобилизма. Дрейф крупных плит литосферы с возвышающейся на них сушей называется неомобилизмом. Теория неомобилизма сегодня является основой всех наук о Земле. Она, в частности, вносит весомый вклад в описание таких процессов, происходящих в земной коре, как извержения вулканов и землетрясения.

**Атмосфера.** Земли представляет собой газовое образование, которое окутывает нашу планету сплошной оболочкой. Верхняя граница атмосферы лежит на высоте нечетко, так как с высотой газы разрежаются и постепенно переходят в мировое пространство.

Атмосфера сохраняет тепло солнечных лучей, защищает живое от губительного воздействия далеких ультрафиолетовых солнечных излучений и космических лучей. Без атмосферы на Земле был бы резкий температурный контраст между освещенной и не освещенной солнечным излучением сторонами планеты.

Атмосфера Земли образована смесью газов, влаги и частиц пыли. Сухой воздух вблизи поверхности Земли содержит 78,09% азота, 20,95% кислорода, 0,93% аргона, 0,03% углекислого газа. На долю всех остальных газообразных элементов вместе взятых приходится 0,01%. Состав атмосферы до высоты 100 км существенно не изменяется, а выше кислород, а затем и азот находятся в атомарном состоянии. Влага попадает в атмосферу вследствие испарений с поверхности Земли. Около 90% ее сосредоточено в нижнем пятикилометровом слое. Половина массы атмосферы находится до высоты 5–6 км, а 90% — до 16 км.

С высотой изменяется не только атмосферное давление, плотность и температура воздуха, но и электри-

ческое состояние атмосферы, а на больших высотах еще и состав. Поэтому в атмосфере выделяют несколько сфер с различными свойствами. К ним относятся: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера (или моносфера), экзосфера. *Тропосфера* простирается от поверхности Земли до высоты 8—12 км. В тропосфере находится почти весь водяной пар. Здесь формируется погода. Характерная особенность тропосферы — понижение температуры в среднем на 6 °С на каждый километр высоты. Над тропосферой находится стратосфера. Ее верхняя граница расположена на высоте 50—55 км. *Стратосфера* характеризуется возрастанием температуры с высотой. Стратосфера отличается от тропосферы малой турбулентностью воздушных масс, ничтожным содержанием водяного пара, повышенным содержанием озона. Выше стратосферы до высот порядка 80 км находится *мезосфера*. В ней температура с высотой падает и у верхней границы составляет –80 °С. Между высотами 80 км и 800 км располагается *термосфера*. В термосфере температура растет до 2000 °С из-за влияния радиации Солнца. Учитывая способность газов термосферы ионизировать, ее называют также *ионосферой*. *Экзосфера* — самая верхняя, сильно разреженная часть атмосферы с температурой 2000 °С. На высотах 20—25 км концентрация озона наиболее высокая и этот тонкий слой называют *озоносферой*.

**Гидросфера**, или водная оболочка Земли, не является сплошной и занимает 70,8% земной поверхности. Гидросфера влияет на климат, создавая значительный парниковый эффект, сглаживает температурные контрасты различных участков земной поверхности за счет большой теплоемкости и переноса тепла из экваториальной области в умеренные и полярные широты. К гидросфере относятся Мировой океан и воды суши: реки, озера, подземные воды, ледники. Все они связаны между собой в планетарном процессе круговорота воды, газов и минеральных солей. Самое большое скопление воды на поверхности Земли составляет Мировой океан, который делится на Тихий, Атлантический, Индийский, Северный и Южный Ледовитый. Интенсивное перемещение океанических вод происходит как за счет мощных течений, так и вследствие приливов и отливов. Поверхность океанов и морей постоянно покрыта волнами. Различают волны ветровые, цунами и барические. Первые из них возникают при ветре. Особенно большие волны вы-

зывают штормы и ураганы. Волны цунами образуются при извержениях подводных вулканов и при подводных землетрясениях. Барические волны возникают при прохождении циклона. Мировой океан является самым большим скоплением воды на Земле, основным водохранилищем и колыбелью жизни нашей планеты и играет роль гигантского геохимического реактора и аккумулятора тепловой энергии.

В гидросферу Земли входят также реки и озера. Различают четыре вида питания рек: дождевое, снеговое, ледниковое, подземное. Озера занимают 2% поверхности суши. В целом гидросфера Земли представляет собой уникальное образование. Ничего подобного пока что не обнаружено ни на какой другой планете. Именно благодаря гидросфере на Земле присутствует живое вещество, и вполне возможно, что именно наличие гидросферы является основной причиной его возникновения.

**Биосфера** — одна из оболочек Земли, свойства которой обусловили появление, существование и развитие в ее пределах органической жизни. В биосферу включают нижнюю часть атмосферы (тропосферу), гидросферу и верхнюю часть литосферы. Таким образом, верхняя граница биосферы поднимается до высоты 33 км, где еще встречаются бактерии, а нижняя граница находится в литосфере на глубине 11 км, где обнаружены микроорганизмы в водах нефтяных месторождений. С жизнедеятельностью организмов связаны процессы газообмена, круговорот кислорода, углекислого газа, углекислоты и воды, а также малый биологический круговорот биогенных химических элементов. Кроме того, организмы принимают значительное участие в формировании геологических напластований в земной коре (ископаемые угли, ракушечные известняки и др.); изменяют рельеф поверхности Земли и играют первостепенную роль в развитии почв.

**Магнитосфера** обусловлена наличием вокруг нее магнитного поля. Земля обладает относительно большим магнитным полем. Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими, а магнитная ось Земли наклонена относительно оси вращения под углом около  $11,5^\circ$ . Причиной несоответствия современного геомагнитного поля древним полям (палеомагнетизм) являются горизонтальные перемещения отдельных частей земной коры. Магнитное поле Земли удерживает огромное число энергичных частиц, как электронов, так и протонов, образуя вокруг Земли ее магнитосферу. Частицы заполняются

как огромные кольца или пояса, охватывающие Землю вокруг геомагнитного экватора.

Для людей важным процессом на Земле является **погода**, которая определяется явлениями, происходящими в атмосфере при ее взаимодействии с земной поверхностью, Мировым океаном и Вселенной. Совокупность и последовательная смена всех возможных в данной местности условий погоды за многолетний промежуток времени называется **климатом**. Различают климат материка, какой-то его части, зоны, района, города. Погода и климат воздействуют на все живое, существенно влияют на деятельность людей. Наука о земной атмосфере и происходящих в ней процессах называется метеорологией. Метеорологи разрабатывают и совершенствуют методы прогноза погоды, ищут способы изменения погоды и климата в необходимом для людей направлении.

Климат любой части земного шара зависит прежде всего от географической широты. Имеется зональность и высотная поясность растительности, связанная с изменением количества приходящего на Землю тепла. Основными причинами зональности природы Земли являются ее шарообразность, суточное вращение и годовое обращение Земли вокруг Солнца. Количество поступающей солнечной энергии убывает от экватора к полюсам в зависимости от угла падения солнечных лучей и длины их пути через атмосферу. Это и является причиной географической зональности.

Поверхность Земли обладает различной способностью отражать солнечные лучи (величиной альбедо). Больше всего солнечных лучей (от 80 до 97%) поглощает гидросфера. Поэтому Мировой океан является накопителем и главным источником тепла на Земле. Однообразием свойств водной поверхности объясняется равномерность и малая величина колебаний температуры над океанами. В отличие от водной свойства поверхности суши разнообразны и ее участки поглощают разное количество солнечной энергии. Основной причиной движения воздуха на земном шаре, т.е. причиной возникновения ветров, является неравномерное распределение на поверхности Земли лучистой энергии Солнца.

К метеорологическим элементам, определяющим погоду, относятся солнечная радиация, температура воздуха и почвы, влажность воздуха, атмосферное давление, ветер, облачность, осадки, снежный покров, видимость, метель, туманы и т.д.

При сближении теплого и холодного потоков воздуха горизонтальные перепады температуры, влажности и давления увеличиваются, а скорость ветра возрастает. Зоны, в которых холодные и теплые воздушные массы сближаются, называют переходными, или фронтальными. В области этих фронтов из-за разности температур и давлений возникают обширные вихри, называемые циклонами и антициклонами. Как и на всякое движение относительно Земли, на направление и силу ветра существенное влияние оказывает вращение Земли (силы Кориолиса). Развиваясь, эти вихри охватывают всю тропосферу, достигая десятков тысяч километров в диаметре. Обычно с циклонами связана облачная с осадками погода, с антициклонами — ясная и малооблачная. В циклоне преобладают восходящие движения воздуха, которые способствуют конденсации влаги, в антициклоне — нисходящие, при которых степень насыщения влагой уменьшается.

На низких географических широтах преобладают ветры, называемые пассатами и муссонами. *Пассаты* — это ветры, возникающие из-за различия атмосферного давления в экваториальной зоне. В Северном полушарии они имеют северо-восточное направление, в Южном — юго-восточное. *Муссоны* — это сезонные ветры, возникающие из-за разности температур воздуха над материками и океанами. Зимой они дуют с холодных материков к теплым океанам, летом — со сравнительно холодных океанов на нагретые материки.

В последнее столетие наблюдается глобальное потепление климата Земли. Причиной глобального потепления на планете считается увеличение содержания в атмосфере углекислого газа. Это является результатом развивающейся хозяйственной деятельности людей.

Большинство обитателей Земли принимают свою планету такой, какая она есть. Конечно, люди ворчат на плохую погоду, жалуются на плохие урожаи или стихийные бедствия, но обычно не проводят критического анализа. Когда-то такое отношение было оправданно. Ведь у человека не было выбора, поскольку, родившись на Земле, он должен был принимать ее гостеприимство. Теперь, когда наступила эпоха освоения космического пространства, уместно спросить: не стоит ли переселиться на другую планету или обосноваться в космическом корабле? Окинем же родную планету критическим взглядом. Посмотрим, в какой степени безопасно существовать на Земле, какие опасности

тятся в космосе и какие уникальные условия необходимы для поддержания хрупкого творения, которое мы называем жизнью.

Среди планет земной группы Земля достигла высокой степени эволюции благодаря исключительному динамизму развития, широкому диапазону интенсивных природных процессов. Коренные изменения планеты произошли в ее внешней области — в строении коры, устройстве поверхности, составе атмосферы и климатической обстановке. По сравнению с другими планетами Земля обладает наибольшей плотностью, а следовательно, и большим количеством радиогенной и гравитационной энергии, что обеспечивает ей чрезвычайно активную внутреннюю жизнь.

Сила притяжения Земли оказалась достаточной для удержания выделявшихся из ее недр газов и паров воды, из которых сформировались плотная атмосфера и мощная гидросфера. Земная поверхность как бы надежно защитилась от воздействия космоса (сильного охлаждения, проникновения губительной для всего живого коротковолновой радиации Солнца и космических лучей), а также и от метеоритной бомбардировки. Атмосфера обладает еще одним важным свойством — парниковым эффектом. Благодаря ему средняя температура земной поверхности поднялась на 38 °С, т.е. вместо равновесной температуры земной поверхности в –23 °С ее действительная температура составляет в настоящее время +15 °С.

Гидросфера вследствие высокой теплоемкости и низкой теплоотдачи сильно смягчает температурную контрастность земной поверхности. Этому способствует и облачный покров, распространенный приблизительно на 50% поверхности земного шара.

На Земле мало мест, где максимальные годовые амплитуды температур превышают 100 °С (Центральная Якутия). Колебания температуры в остальных районах крайне малы — на экваторе, например, не более 10 °С, в среднем максимальные колебания можно считать от +50 °С до –50 °С. Для функционирования природной среды важно, что в этом температурном интервале гидросфера может находиться во всех трех фазах: жидкой, твердой, газообразной. Воды на Земле так много (причем 95% ее находится в жидкой фазе), что если бы ее равномерно распределить по поверхности суши, то образовался бы слой толщиной

в 2,7 км, т.е. Землю можно считать океанической планетой. В самом деле, 71% поверхности Земли приходится на океаны и моря и только 29% площади, т.е. в ~2,5 раза меньше, занимает суша.

На Земле **экзогенные процессы** (перемещения и преобразования вещества под влиянием солнечной энергии) протекают в бурном темпе, что оказывает существенное воздействие даже на общую эволюцию планеты, а тем более на ее внешнюю область. Экзогенный фактор на Земле может при соответствующих условиях не только свести на нет морфологический эффект действия **эндогенного фактора** (перемещения и преобразования под воздействием внутренней энергии), но и полностью нейтрализовать фундаментальный **космический фактор** — метеоритную бомбардировку.

Сейсмическое зондирование земных недр установило факты их дифференциации на концентрические сферы. Это установлено из анализа изменения скорости прохождения сейсмических волн — продольных (*P*) и поперечных (*S*). В твердом веществе земных недр плотность с глубиной возрастает и соответственно увеличивается скорость прохождения сейсмических волн. Через жидкую среду (внешнее ядро) поперечные волны не проходят, а скорость продольных снижается.

### 9.3. Состав и строение Солнечной системы

Приход наш и уход загадочны, —  
Их цели все мудрецы Земли  
осмыслить не сумели.  
Где круга этого начало, где конец,  
Откуда мы пришли, куда уйдем отселе?

*Омар Хайям*

Солнечная система представляет собой комплекс небесных тел, объединенных не только упорядоченностью движения, но и общностью физических свойств. В центре Солнечной системы находится наша дневная звезда — Солнце. Вокруг него вместе со своими спутниками обращаются 9 больших планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон (рис. 9.6). Дадим их краткую характеристику.

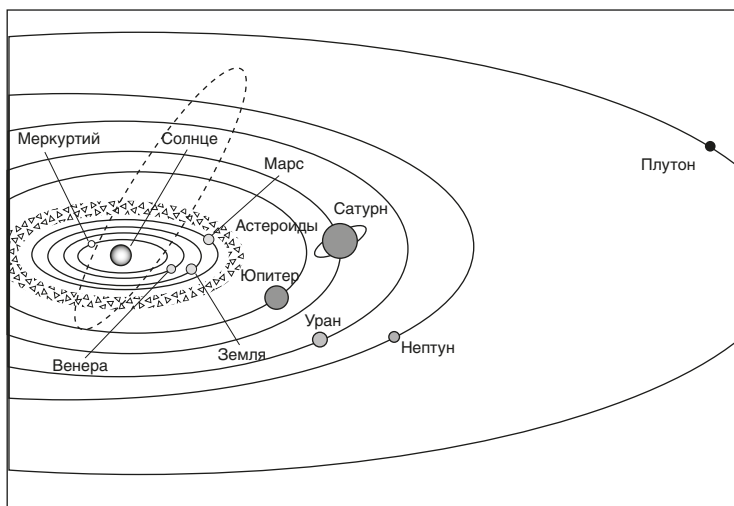


Рис. 9.6. Схема Солнечной системы

**Меркурий** — ближайшая к Солнцу планета и наименьшая из планет земной группы. Ее диаметр составляет 0,383 диаметра Земли, а масса — 0,056 земной массы. Период вращения Меркурия вокруг оси равен 58,65 земных суток. Это близко к  $2/3$  периода обращения планеты вокруг Солнца (88 земных суток). Значит, одни сутки на Меркурии делятся два меркурианских года. К Земле Меркурий обращен всегда одним и тем же полушарием. По внешнему виду Меркурий напоминает Луну со множеством ее кратеров, гор и морей. На Меркурии имеются следы сильно разреженной атмосферы, в состав которой входят водород, гелий, кислород, а также аргон и неон. Температура поверхности планеты колеблется от  $-180^{\circ}\text{C}$  до  $+430^{\circ}\text{C}$ . У планеты слабое магнитное поле. Спутников Меркурий не имеет.

**Венера** — вторая по расстоянию от Солнца и ближайшая к Земле планета Солнечной системы. Видна как «вечерняя звезда» в западной стороне неба сразу после захода Солнца или как «утренняя звезда» — в восточной стороне неба незадолго до восхода Солнца. Венера — самое яркое светило на небе после Солнца и Луны. Венера вращается вокруг оси не с запада на восток, как Земля, а в обратном направлении — с востока на запад. Венера окутана плотной атмосферой, почти целиком состоящей из углекислого газа (97%)



с примесью азота, кислорода и водяных паров. Атмосферное давление — свыше 90 атм. Температура вблизи поверхности планеты достигает  $+470^{\circ}\text{C}$ . Поверхность планеты сухая и каменистая. На ней замечены обширные равнины, но есть и горы. Их наибольшая высота достигает 12 км. По-видимому, там много и вулканов. Естественных спутников у Венеры нет.

**Марс** — четвертая от Солнца планета Солнечной системы. На звездном небе эта планета выглядит как немерцающая точка красного цвета. Марс вдвое меньше Земли по диаметру и в девять раз — по массе. Период вращения планеты вокруг оси 24 ч 37 мин 23 с. Наклон оси вращения Марса к плоскости орбиты почти такой же, как и у Земли (около  $25^{\circ}$ ), поэтому на Марсе есть смена времени года, похожая на земную, хотя продолжительность марсианского года близка к 687 земным суткам. Атмосфера Марса сильно разрежена и состоит в основном из углекислого газа с примесью азота, аргона, кислорода и водяных паров. Атмосферное давление у поверхности планеты в 160 раз меньше, чем на уровне моря на Земле. В атмосфере Марса часто возникают ветры и даже ураганы, вызывающие пылевые бури. Среднегодовая температура планеты  $-70^{\circ}\text{C}$ . При этих условиях жидкой воды на Марсе быть не может и она существует только в виде пара, снега или льда. Марс обладает магнитным полем в 500 раз более слабым, чем магнитное поле Земли. На снимках, сделанных во время полетов автоматических межпланетных станций, поверхность планеты выглядит как красная, безводная, усеянная камнями пустыня с изрезанным рельефом. На Марсе есть кратеры, имеются горы, некоторые из них являются потухшими вулканами. Самая крупная во всей Солнечной системе вулканическая гора Олимп возвышается более чем на 20 км над поверхностью планеты. Марс имеет два естественных спутника Фобос и Деймос.

**Юпитер** — самая крупная планета Солнечной системы и пятая по расстоянию от Солнца. Свое название она получила в честь римского бога неба, громовержца Юпитера. Масса планеты почти в 2,5 раза превышает суммарную массу остальных планет и в 318 раз массу Земли. Диаметр Юпитера больше диаметра Земли в 11,2 раза. Юпитер отстоит от Солнца в 5,2 раза дальше, чем Земля, и затрачивает на один оборот по орбите почти 12 лет. Вокруг своей оси Юпитер вращается быстрее любой другой планеты Солнечной системы. В телескоп планета видна сжатой у полюсов

с заметным рядом светлых и темных полос, которые каждый год располагаются по-разному. Юпитер окружен толстой водородно-гелиевой атмосферой, в верхних слоях которой температура около  $-160^{\circ}\text{C}$ . Особенность этой планеты в наличии знаменитого Большого Красного пятна — огромного газового образования овальной формы и розового цвета, по размерам превышающего размеры земного шара. Предположительно, оно представляет собой грандиозный вращающийся вихрь. Юпитер обладает мощным магнитным полем, а также является источником довольно сильного радиоизлучения. Вокруг Юпитера вращаются 16 спутников, наиболее крупные из которых были открыты в 1610 г. Галилеем. Кроме спутников, Юпитер окружен кольцом из мелких камней и пыли, всегда обращенным к Земле ребром, поэтому с Земли его не видно.

**Сатурн** — вторая по величине планета Солнечной системы. Имея массу, равную примерно 95 земным массам, и объем более 758 земных объемов, обладает по сравнению с другими планетами самой низкой средней плотностью. В атмосфере Сатурна присутствуют водород, метан и другие газы. Вблизи верхней границы облаков температура составляет примерно  $-170^{\circ}\text{C}$ . Планета обладает магнитным полем и является источником радиоизлучения. Сатурн имеет 17 спутников, самый крупный из них Титан. Одно из хорошо известных и интересных небесных образований — кольца Сатурна.

**Уран** — седьмая по порядку от Солнца планета Солнечной системы. Это первая из планет, открытая с помощью телескопа. Уран относится к числу планет-гигантов. По диаметру он почти в 4 раза, а по массе — приблизительно в 14,6 раза больше Земли. Расстояние от Урана до Солнца почти в 20 раз больше, чем от Земли до Солнца, и эта планета совершает полный оборот вокруг нашего светила за 84 года. Уран, подобно Венере, вращается вокруг своей оси в направлении с востока на запад (а не с запада на восток, как Земля и другие планеты). Уран сильно сжат у полюсов. Его атмосфера состоит наполовину из водорода. Кроме того, в ней присутствуют метан, аммиак и гелий. Температура на поверхности облачного слоя планеты — около  $-215^{\circ}\text{C}$ . Уран имеет девять узких непрозрачных газопылевых колец и 16 спутников.

**Нептун** — восьмая по расстоянию от Солнца большая планета Солнечной системы. Диаметр Нептуна равен 3,81 диаметра Земли, а масса — 17,2 земных масс. Пла-

нета сильно сжата и быстро вращается вокруг своей оси. Она состоит, по-видимому, из замороженной воды и других распространенных в космосе водородных соединений; 20% массы приходится на соединения кремния и металлов. Планета получает от Солнца в 900 раз меньше тепла, чем Земля. Температура на поверхности Нептуна 200–220 °С. Планета окутана плотной водородно-гелиевой атмосферой с примесью метана и аммиака. Нептун имеет 8 спутников и кольца такой же природы, как у Юпитера.

**Плутон** — наименьшая среди известных планет Солнечной системы и наиболее далекая от Солнца, открыт сравнительно недавно. Плутон находится в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля, и получает от него в 1600 раз меньше тепла и света, чем наша планета. Плутон — это холодный темный и безмолвный мир, поверхность которого покрыта метановым льдом. Температура планеты рекордно низка: –230 °С. Период вращения Плутона равен 6 суток 9 ч, а период обращения — почти 248 лет. В 1978 г. американский астроном Дж. Кристи открыл у Плутона один спутник, названный Хароном. Он удален от планеты на расстояние в 17 000 км.

Помимо больших планет и их спутников, в состав Солнечной системы входят тысячи малых планет — астероидов, находящихся в основном между орбитами Марса и Юпитера, где они образуют так называемый пояс астероидов. Кроме того, в межпланетном пространстве по очень вытянутым орбитам движутся твердые ледяные тела, окруженные газовой оболочкой, — кометы и множество камней и частиц самых различных размеров (метеоритное вещество). В табл. 9.1 и 9.2 приведены физические и динамические характеристики планет Солнечной системы.

Солнечная система обладает рядом важных особенностей. Перечислим основные из них.

1. Подавляющая часть полной массы Солнечной системы принадлежит Солнцу, т.е. центральному телу. На долю Солнца приходится 99,87% массы Солнечной системы, так что сила его притяжения почти полностью управляет движением планет, которые обращаются вокруг него по орбитам, близким к эллипсам. Поэтому Солнце находится почти точно в центре планетных орбит.

2. Орбиты всех планет и большинства астероидов близки к окружностям и лежат приблизительно в плоскости эклиптики, т.е. в плоскости земной орбиты. Наибольшим накло-

Таблица 9.1

**Физические характеристики планет Солнечной системы**

Планета	Масса	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура поверхности, К	Сила тяжести на поверхности (Земля = 1)	Экваториальный диаметр, км
Меркурий	$3,15 \cdot 10^{23}$	5,44	100	0,38	4880
Венера	$4,89 \cdot 10^{24}$	5,16	743	0,91	12 104
Земля	$5,98 \cdot 10^{24}$	5,52	290	1,00	12 756
Марс	$6,42 \cdot 10^{23}$	3,94	250–320	0,38	6776
Юпитер	$1,89 \cdot 10^{27}$	1,88	173 (макс)	2,34	140 140
Сатурн	$5,68 \cdot 10^{26}$	0,71	127	0,93	115 600
Уран	$8,68 \cdot 10^{25}$	1,47	90 (макс)	0,85	49 400
Нептун	$1,03 \cdot 10^{25}$	1,70	72 (макс)	1,14	49 008
Плутон	$1,40 \cdot 10^{24}$	1,30	63 (макс)	0,04	2300

Таблица 9.2

**Динамические характеристики планет Солнечной системы**

Планета	Среднее расстояние от Солнца, млн км	Период обращения вокруг Солнца, годы (ср. сутки)	Средняя скорость орбитального движения, км/с	Период вращения вокруг оси (сутки, часы, минуты)
Меркурий	57,91	0,24 (88)	47,87	58,6 суток
Венера	108,21	0,62 (224,7)	35,00	243,16 суток
Земля	149,60	1,00 (365,26)	29,79	23 ч 56 мин 4 с
Марс	227,94	1,88 (687,0)	24,13	24 ч 37 мин 23 с
Юпитер	777,80	11,86	13,05	9 ч 50 мин 30 с
Сатурн	1427,00	29,46	9,65	10 ч 14 мин
Уран	2869,00	84,02	6,80	10 ч 48 мин
Нептун	4496,00	164,80	5,43	15 ч 48 мин
Плутон	5947,00	247,70	4,74	6,39 суток

ном к эклиптике (земной орбите) обладают орбиты Плутона ( $17^\circ$ ) и Меркурия ( $7^\circ$ ) и наибольшей вытянутостью.

3. По размерам, массе и общему строению большие планеты делятся две группы: на планеты типа Земля (или пла-

неты земной группы), расположенные внутри пояса астероидов, и планеты-гиганты (вне его). Плутон занимает особое положение, отличаясь от планет обеих групп.

Планеты типа Земля значительно меньше гигантов по массе и размерам. Они обладают большей средней плотностью вещества и сравнительно медленным вращением.

Планеты-гиганты в десятки и сотни раз массивнее планет земной группы. Они окружены сравнительно плотными протяженными атмосферами. Планеты-гиганты состоят в основном из водорода и гелия; доля всех других элементов в них значительно меньше, чем у планет земной группы.

4. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одну сторону, причем направление их осевого вращения, как правило, совпадает с направлением движения по орбите. Исключение составляют лишь Венера и Уран, которые вращаются в противоположную сторону, причем ось вращения Урана лежит почти в плоскости орбиты.

Перечисленные особенности связаны с теми условиями, в которых происходило формирование планет миллиарды лет тому назад.

Возраст Солнечной системы был определен на основании лабораторного изотопного анализа земных скальных пород, а также метеоритов и доставленных на Землю космическими аппаратами образцов лунного грунта. Оказалось, что наиболее старые из них имеют возраст около 4,5 млрд лет. Возраст Солнца, полученный на основе теории эволюции звезд, оценивается примерно в 5 млрд лет. Поэтому считается, что все планеты сформировались приблизительно в одно время — 4,5–5 млрд лет тому назад.

Согласно существующим представлениям вещество, из которого возникли планеты и их спутники, первоначально образовывало массивный диск из холодного газа и пыли, окружавший еще молодое Солнце. Планеты сформировались в результате роста сгущений, возникших под действием сил гравитации в этом вращавшемся диске. Поэтому и сейчас все они, сохраняя движение диска, обращаются вокруг Солнца в одну и ту же сторону. Плотность, температура и химический состав протопланетного вещества были весьма различными во внешних, далеких от Солнца, и внутренних, близких к нему, частях диска. Это привело к сильному различию двух групп планет — внутренних и внешних.

Две основные причины, определяющие важнейшие свойства каждой планеты, — это расстояние планеты

от Солнца и масса. Чем больше среднее расстояние планеты от Солнца, тем меньше энергии от него она получает. По этой причине температура планет быстро падает с увеличением расстояния от Солнца. Напомним, что в отличие от далеких планет планеты земной группы, расположенные ближе к Солнцу, содержат очень много тугоплавких элементов (кремний, железо и др.). По-видимому, это отражает особенности химического состава того протопланетного газопылевого диска, из вещества которого сформировались планеты: чем дальше от Солнца, тем больше легких газов содержалось в протопланетном диске. Причина этого в том, что на больших расстояниях от Солнца при более низких температурах молекулы легких газов могли замерзнуть на пылинки, в то время как вблизи Солнца легкие газы нагревались и покидали протопланетный диск.

Масса планеты определяет ее способность удерживать вокруг себя атмосферу. Газ всегда стремится к расширению, и газовые атмосферы удерживаются вокруг планет только благодаря гравитационному притяжению к ним. Но из атмосферы любой планеты непрерывно происходит утечка вещества в межпланетное пространство. Это связано с тепловым движением молекул газа. Скорость каждой молекулы постоянно меняется из-за столкновений с другими молекулами. Если скорость случайно превысит вторую космическую, то такая молекула навсегда может покинуть разреженные внешние слои атмосферы планеты. Чем меньше масса планет, тем слабее ее гравитационное притяжение и тем быстрее она теряет свою атмосферу, поскольку наиболее «быстрым» молекулам легче покинуть ее.

Из физики известно, что средняя скорость ( $v$ ) теплового движения молекул и атомов пропорциональна  $\sim \sqrt{T/m_0}$ , где  $T$  — абсолютная температура газа, а  $m_0$  — масса его молекул (или атомов). Поэтому при любой температуре быстрее всего покидают атмосферу молекулы легких газов, имеющие более высокую среднюю скорость. Следовательно, со временем масса атмосферы и ее химический состав должны меняться. В атмосферах планет земной группы осталось очень мало легких газов (водорода и гелия). Меркурий из-за небольшой массы и высокой температуры, обусловленной близостью к Солнцу, практически вовсе лишен ат-

мосферы. Атмосфера Марса из-за слабости его гравитационного поля сильно разрежена, а Луна и спутники планет вообще не смогли удержать вблизи себя газовую оболочку. Исклучение составляет массивный и холодный спутник Сатурна — Титан, имеющий атмосферу, содержащую много относительно тяжелого газа — азота, и небольшой спутник Юпитера — Ио. Последний теряет атмосферу непрерывно, но она постоянно пополняется за счет извержения вулканов, которые вместе с выбросом лавы выделяют много газов. По-видимому, и у планет земной группы (в том числе и у Земли) вулканические извержения и выделения газов из недр сыграли решающую роль в образовании атмосферы, когда планеты были еще молодыми.

На твердой поверхности больших планет (особенно не обладающих атмосферой) и их спутников наблюдаются многочисленные кратеры — результат метеоритной бомбардировки. Она происходит и в наше время. Однако наиболее интенсивной она была миллиарды лет тому назад. Такие тела, как Луна, Меркурий, спутник Юпитера Каллисто и др., где кратеров очень много и где они мало разрушались, сохранили большую часть своей поверхности в том виде, какой она была миллиарды лет назад. На Венере, Марсе и на некоторых спутниках (частично и на Луне) происходит процесс постепенного исчезновения старых кратеров. Они могли заполняться лавой (на Луне), разрушаться под действием ветра (как, например, на Марсе) или воды (как на Земле). Поэтому изучение поверхностей различных планет и спутников дает возможность узнать о далекой их истории и путях эволюции.

Сильные магнитные поля обнаружены пока у трех планет: Земли, Юпитера и Сатурна. По-видимому, они связаны с существованием электрических токов в расплавленных недрах этих планет. Если планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс имеют относительно большую плотность и состоят из тяжелых элементов, то планеты-гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун имеют плотность чуть больше, чем у воды, и состоят из легких элементов — водорода и гелия. Они имеют мощные протяженные атмосферы, переходящие в жидкий слой поверхности. Например, Юпитер состоит в основном из водорода, 18% по массе приходится на гелий, имеется примесь аммиака  $\text{NH}_3$  и метана  $\text{CH}_4$  (болотного газа). Хотя планеты-гиганты холодны и безжизненны, но вследствие огромных расстояний между

ними и больших масс они обладают многочисленными семействами спутников. Система Сатурна имеет даже разительное сходство с Солнечной системой в целом не только потому, что у этой планеты 17 спутников (больше, чем число известных планет), но и потому, что она обладает также большими кольцами — миниатюрным «поясом астероидов». Кольца состоят из мелких частиц, покрытых льдом и обрастающих вокруг Сатурна в диске, относительная толщина которого по сравнению с его шириной меньше, чем у листа бумаги. Уран и Юпитер также имеют кольца, хотя они много слабее и поэтому их трудно наблюдать. Возможно, они есть и у Нептуна.

Кроме больших тел (планет и их спутников), обращающихся вокруг Солнца, к Солнечной системе относятся малые тела: астероиды, кометы, метеоры и метеориты.

**Астероиды.** Большая часть астероидов (более пяти тысяч тел размером от одного до тысячи километров) движется между орбитами Марса и Юпитера. Орбиты их, как правило, не слишком сильно отличаются от окружностей. Периодические изменения яркости, наблюдаемые у некоторых астероидов, указывают на то, что они обладают неправильной формой, неровной поверхностью и вращаются вокруг своих осей. Поверхности астероидов, как и спутников планет, должны нести следы ударов более мелких тел. Атмосферы у астероидов нет.

**Кометы** — это странные небесные скитальцы, они вызвали у людей суеверный страх чаще, чем любые другие небесные тела. Большинство комет движутся по чрезвычайно вытянутым орбитам и при каждом обороте приближаются к Солнцу лишь на непродолжительное время. В перигелии при максимальном сближении с Солнцем их блеск очень сильно возрастает. В это время они столь активны, что теряют заметную долю своего вещества и вокруг их ядра образуется протяженная атмосфера (кома) из газа и мелких пылевых частиц.

Под давлением солнечного излучения и выброшенных Солнцем частиц кометный газ и пыль покидают голову кометы, порождая протяженный хвост, а то и несколько хвостов всегда сложной структуры. Вероятно, кометы внесли свой вклад в обогащение вещества Солнечной системы такими легкими летучими составляющими, как углерод и вода, без которых была бы невозможна жизнь на Земле.



## 9.4. Солнце, звезды и межзвездная среда

К дальним звездам, в небесную роздынь  
улетали ракеты не раз.

люди, люди — высокие звезды,  
долететь бы мне только до Вас.

*Р. Гамзатов*

**Солнце** — это наша звезда. Изучая Солнце, можно узнать о многих явлениях и процессах, происходящих на других звездах и недоступных непосредственному наблюдению из-за огромных расстояний, которые отделяют нас от звезд. Радиус Солнца в 109 раз, объем в 1,3 млн раз, масса в 333 000 раз больше соответственно радиуса, объема и массы Земли.

Энергия, получаемая Землей от Солнца, характеризуется солнечной постоянной. *Солнечной постоянной* называется величина, определяемая полной энергией, которая падает в 1 с на площадку в  $1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии Земли и Солнца. За последние 3 млрд лет она не изменилась и составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ . Значит, полная энергия, излучаемая Солнцем в единицу времени, постоянна. Эта энергия называется светимостью ( $L_0$ ) Солнца, а мощность его излучения составляет  $L_c = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ .

Существуют различные способы определения температуры Солнца, все они основаны на физических законах, открытых на Земле и действующих во всей доступной наблюдателям части Вселенной. Эти методы дают величину температуры поверхности Солнца 6000 К. При такой температуре вещество находится на Солнце в газообразном состоянии, причем атомы некоторых химических элементов ионизированы. С глубиной температура растет (достигает в центре Солнца 14 млн К) и увеличивается число ионизированных атомов. Поэтому основное состояние, в котором находится вещество на Солнце, — это плазма, а Солнце — это раскаленный плазменный шар.

Отождествление линий в спектре Солнца с линиями в спектрах химических элементов, изучаемых в лабораторных условиях, позволяет определить состав атмосферы Солнца. На Солнце обнаружено более 70 химических элементов. Никаких «неземных» элементов Солнце не содер-

жит. Самые распространенные — водород (около 70% всей массы Солнца) и гелий (более 28%). Гелий («солнечный газ») был впервые открыт на Солнце и только почти через 30 лет — на Земле.

Источником энергии Солнца является термоядерный синтез ядер водорода с образованием ядер гелия. Это происходит в ядре Солнца, составляющем четверть его радиуса. Перенос энергии, выделяющейся при ежесекундном сгорании в ядре Солнца 600 млн т водорода, происходит в зоне лучистого переноса энергии, а затем конвективной зоне. Солнце испускает электромагнитное излучение во всем диапазоне длин волн от  $\gamma$ -лучей до радиоволн, максимум видимого излучения находится на длине волны 5000 Å. Видимое излучение Солнца образуется в самом нижнем слое атмосферы Солнца — фотосфере. Атмосфера состоит также из хромосферы и короны. Кроме излучения, от Солнца распространяется поток частиц — протонов, нейтронов, электронов, называемых солнечным ветром. На расстоянии Земли их скорость составляет 400 км/с. Когда Солнце спокойное, солнечный ветер стабильный; но во время солнечной активности поток частиц усиливается. Солнечная активность на Солнце проявляется в виде пятен, факелов, вспышек, протуберанцев и других явлений, наблюдается периодически в среднем через 11 лет и влияет на земные процессы.

**Звезды** — это массивные горячие газовые шары. В них сосредоточено более 95% всех элементов, наблюдаемых в природе. Изучая, как распределены в пространстве звезды и их скопления, ученые исследуют тем самым строение окружающего нас мира, структуру Вселенной. Звезды различаются большим разнообразием размеров, масс, светимостей, цветом, температурой. По массам есть звезды, превосходящие Солнце в 80 раз, но есть и составляющие 0,05 массы Солнца. По светимостям звезды имеют в 100 000 раз большую и во столько же раз меньшую светимость. Диапазон поверхностных температур звезд охватывает от 3000 К до 50 000 К. Цвет звезды зависит от температуры. При 3000 К звезда красная, при 6000 К — желтая, при 10 000 — белая, а при больших — голубые. Время существования звезд зависит от массы. Время жизни массивных звезд короче, чем легких. Диапазон времени существования звезд составляет от 100 млн до сотен млрд лет. В звездах произошло и происходит образование большинства химических элементов, из которых состоит

вещество окружающего нас мира. Атомы любого вещества на Земле, включая и те, из которых состоим мы сами, когда-то, еще до того, как возникла Солнечная система, родились или пребывали в недрах звезд.

Получение спектров звезд и их сравнение со спектрами лабораторных газовых источников сразу же позволили сделать вывод о том, что звезды состоят из известных на Земле химических элементов. На Солнце и на звездах были найдены практически все элементы периодической системы элементов Менделеева, кроме неустойчивых изотопов и самых тяжелых атомов. У большинства звезд около 98% массы приходится на водород и гелий — самые легкие элементы, причем по массе водорода примерно в 2,5 раза больше, чем гелия. На долю всех остальных тяжелых элементов приходится менее 2% массы.

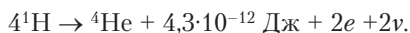
Хотя звезды состоят из знакомых химических элементов, звездный газ обладает двумя важными особенностями. *Во-первых*, если в обычных, «земных» условиях газ состоит из молекул, то в звездах из-за высокой температуры молекулы распадаются (диссоциируют) на отдельные атомы, так что звездный газ атомарный. Лишь во внешних слоях наиболее холодных звезд, где температура не превышает 4000 К, имеются наиболее устойчивые радикалы или молекулы, например CN, CH<sub>3</sub>, OH, TiO. *Во-вторых*, основная масса звездного газа ионизирована. Это также вызвано высокой температурой.

Так как звезды заметно не меняют своих размеров, можно считать, что их вещество находится в равновесии: давление газа внутри звезды само устанавливается как раз таким, чтобы удержать звезду от гравитационного сжатия. Это равновесие устойчиво, в противном случае ни звезд, ни Солнца в природе не существовало бы.

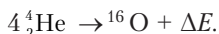
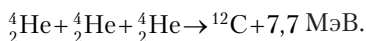
Температура и плотность газа внутри звезд быстро возрастает вглубь. Так, в центре Солнца температура составляет около 14 млн градусов, а плотность газа примерно в 150 раз больше, чем у воды. По существующим оценкам, большинство звезд может светить, не переставая, многие миллиарды лет. Солнце излучает свет уже около 5 млрд лет. Это в несколько раз больше возраста самых древних ископаемых растений.

Откуда звезды черпают излучаемую ими энергию? Основным источником энергии звезд считаются взаимодействие между атомными ядрами. Известно, что при термоядерных реакциях происходит слияние (синтез) легких

ядер атомов с образованием более тяжелых ядер других атомов. В недрах звезд происходит взаимодействие между ядрами водорода — протонами. При температуре 10—30 млн градусов, существующей в центральных областях большинства звезд, средняя скорость движения протонов составляет несколько сотен километров в секунду. Наиболее энергичные протоны, сталкиваясь, взаимодействуют между собой довольно сложным образом. В результате этого взаимодействия четыре протона могут образовать одно ядро атома гелия. Такая реакция сопровождается выделением энергии. Это поддерживает высокую температуру в недрах звезды. Получается, что звезды как бы «подогреваются» из центра. Реакцию превращения водорода в гелий можно представить так:



Так как масса четырех протонов больше массы ядра атома гелия, то этот избыток массы и уносится квантами излучения и нейтрино в соответствии с уравнением Эйнштейна  $E = mc^2 = h\nu$ . Звезды типа Солнца каждую секунду теряют на излучение массу в миллионы тонн. При этом сотни миллионов тонн водорода каждую секунду превращаются в гелий. У звезд, температура которых в центре существенно выше, чем у Солнца, может происходить синтез более тяжелых элементов из гелия. Эти реакции также сопровождаются выделением энергии, способной поддерживать излучение звезд. Так, в красных гигантах и сверхгигантах, в недрах которых температура превышает сотни миллионов градусов, могут идти реакции слияния ядер гелия, приводящие к образованию ядер углерода и кислорода (из трех и четырех ядер гелия соответственно):



Большая часть углерода и кислорода возникла в недрах таких звезд.

Итак, в звездах путем слияния атомных ядер возникают новые химические элементы, которых в природе становится все больше и больше. Химические элементы, составляющие нашу Землю и все, что на ней существует, в большинстве своем также сформировались в недрах звезд миллиарды лет назад, когда еще не существовало ни Земли, ни Солнца.

Согласно современным представлениям звезды образуются путем конденсации весьма разреженной **межзвездной газопылевой среды**. Плотность межзвездной газовой среды ничтожна. Химический состав межзвездного газа довольно хорошо исследован. Он сходен с химическим составом наружных слоев звезд. Преобладают атомы водорода и гелия, атомов металлов сравнительно немного. В довольно заметных количествах присутствуют простейшие молекулярные соединения (например, CO, CN). Возможно, что значительная часть межзвездного газа находится в форме молекулярного водорода. Кроме газа, в состав межзвездной среды входит космическая пыль. Размеры таких пылинок составляют  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  см. Они являются причиной поглощения света в межзвездном пространстве. Космическая пыль, так же как и связанный с ней межзвездный газ, сильно концентрируется к галактической плоскости. Толщина газопылевого слоя составляет всего лишь около 250 пк. Межзвездный газ и пыль смешаны. Для этой среды характерно резко выраженное «клочковатое» распределение. Она существует в виде облаков (в которых плотность раз в 10 больше средней), разделенных областями, где плотность ничтожно мала. Эти газопылевые облака сосредоточены в основном в спиральных ветвях Галактики и участвуют в галактическом вращении. Наиболее плотные из таких облаков наблюдаются как темные или светлые туманности.

В отдельных областях межзвездного пространства газ находится преимущественно в молекулярном состоянии. За последние 30 лет, прошедших после открытия в межзвездной среде радиолиний OH и H<sub>2</sub>O, было открыто много других радиолиний межзвездного происхождения, принадлежащих различным молекулам. Полное число обнаруженных таким образом молекул уже превышает 50. Среди них особенно большое значение имеет молекула CO, радиолиния которой наблюдается почти во всех областях межзвездной среды. Довольно неожиданным было обнаружение в таких облаках радиолиний весьма сложных многоатомных молекул, например CH<sub>3</sub> COH, CH<sub>3</sub> CN и др. Это открытие, возможно, имеет отношение к проблеме происхождения жизни во Вселенной.

Сравнительно недавно астрономы получили ряд косвенных доказательств наличия межзвездных магнитных полей, связанных с облаками межзвездного газа и движущихся вместе с ними. Межзвездные магнитные поля играют реша-

ющую роль при образовании плотных газопылевых облаков межзвездной среды, из которых конденсируются звезды. Масса межзвездного газа в нашей Галактике близка к миллиарду солнечных масс, что составляет немногим больше 1% от полной массы Галактики, обусловленной в основном звездами. В других звездных системах относительное содержание межзвездного газа меняется в довольно широких пределах. У эллиптических галактик оно очень мало, около  $10^{-4}$  и даже меньше, в то время как у неправильных звездных систем (типа Магеллановых Облаков) содержание межзвездного газа доходит до 20 и даже 50%. Это обстоятельство тесно связано с вопросом об эволюции звездных систем.

## 9.5. Галактики

Кругом тот мир, где я кажусь ничем;  
Во мне роятся мысли, все обнять  
Готовые...

*Байрон*

Окружающие Солнце звезды и само Солнце составляют лишь ничтожно малую часть гигантского коллектива звезд и туманностей, которая называется Галактикой. Это скопление звезд мы видим в ясные безлунные ночи как пересекающую небо полосу Млечного Пути. Галактика имеет довольно сложную структуру. В первом, самом грубом приближении, можно считать, что звезды и туманности, из которых она состоит, заполняют объем, имеющий форму сильно сжатого эллипсоида вращения. В действительности оказывается, что разные типы звезд совершенно по-разному концентрируются по отношению к центру Галактики и к ее «экваториальной плоскости». Основная часть звезд в Галактике находится в гигантском диске, диаметр которого около 100 тыс. световых лет, а толщина около 1600 световых лет. В этом диске насчитывается 200 млрд звезд самых различных типов.

**Наша Галактика** — это гигантский звездный остров, в состав которого входит Солнечная система. Галактика имеет спиральную структуру и состоит из ядра и нескольких спиральных ветвей. Такие Галактики составляют около 50% всех звездных систем. Диаметр звездного ядра Галактики составляет не менее 4000 световых лет, а его масса

равна примерно 5% массы всей Галактики. В состав ядра Галактики входит много красных гигантов и короткопериодических цефеид — пульсирующих звезд. Они периодически расширяются и сжимаются. Сжатие наружных слоев вызывает их нагрев. Ядро Галактики не видно в обычных лучах из-за поглощения света пылевыми облаками, но его можно сфотографировать в инфракрасных лучах.

Солнце — одна из этих звезд, находящаяся на периферии Галактики вблизи от ее экваториальной плоскости (точнее, «всего лишь» на расстоянии около 30 световых лет — величина достаточно малая по сравнению с толщиной звездного диска).

Расстояние от Солнца до ядра Галактики (или ее центра) составляет около 30 тыс. световых лет и 22 000 световых лет от края Галактики. Звездная плотность в Галактике весьма неравномерна. Выше всего она в области галактического ядра, где, по последним данным, достигает 2 тыс. звезд на кубический парсек, что в 20 тыс. раз больше средней звездной плотности в окрестностях Солнца. Кроме того, звезды имеют тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. В Галактике имеются и структурные детали гораздо больших масштабов. Исследованиями последних лет доказано, что туманности, а также горячие массивные звезды распределены вдоль ветвей спирали. Особенно хорошо спиральная структура видна у других звездных систем — галактик. Звезды и туманности в пределах Галактики движутся довольно сложным образом. Прежде всего они участвуют во вращении Галактики вокруг оси, перпендикулярной к ее экваториальной плоскости. Это вращение не такое, как у твердого тела: различные участки Галактики имеют разные периоды вращения. Так, Солнце и окружающие его в огромной области размером в несколько сотен световых лет звезды совершают полный оборот за время около 200 млн лет. Так как Солнце вместе с семьей планет существует, по-видимому, около 5 млрд лет, то за время своей эволюции (от рождения из газовой туманности до нынешнего состояния) оно совершило примерно 25 оборотов вокруг оси вращения Галактики. Скорость движения Солнца и соседних с ним звезд по их почти круговым галактическим орбитам достигает 250 км/с. На это регулярное движение вокруг галактического ядра накладываются хаотические, беспорядочные движения звезд. Скорости таких движений значительно меньше — порядка 10–50 км/с, при-

чем у объектов разных типов они различны. Меньше всего скорости у горячих массивных звезд (6–8 км/с), у звезд солнечного типа они около 20 км/с. Звезды почти никогда не сталкиваются друг с другом, хотя движение каждой из них определяется полем силы тяготения, создаваемым всеми звездами в Галактике.

Значительная роль в Галактике принадлежит темной диффузной материи. Плотность диффузных туманностей очень мала, в среднем  $10^{-23}$  г/см<sup>3</sup>, или несколько атомов водорода на 1 см<sup>3</sup>. Газовые диффузные туманности образуют в галактической плоскости слой толщиной всего лишь около 1200 световых лет. Они принадлежат к населению, характерному для спиральных ветвей Галактики. Размеры туманностей огромны — от нескольких до сотни световых лет. Но ввиду огромной протяженности туманностей их масса весьма велика и составляет несколько сот миллионов солнечных масс. Возможно, часть диффузного вещества была выброшена горячими звездами в ходе их эволюции; происхождение же остального вещества еще неясно. Галактика включает в себя около 100 млн диффузных туманностей, состоящих из пыли и межзвездного газа. Общая масса Галактики составляет примерно около 120 млрд солнечных масс, или  $2,5 \cdot 10^{44}$  г. Если говорить о массе видимого вещества нашей галактики, то примерно 95% ее приходится на долю звезд, а около 5% — на межзвездный газ и пыль. Пространство Галактики пронизано потоками заряженных частиц огромных энергий, а на межзвездный газ действует магнитное поле.

**Другие галактики.** В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики, каждая из которых, подобно нашей, состоит из многих миллиардов звезд. Таким образом, наблюдаемая нами часть Вселенной, называемая Метагалактикой, представляет собой совокупность звездных систем — галактик, движущихся в огромном пространстве Космоса. Ближайшие к нашей звездной системе галактики — Магеллановы Облака, хорошо видные на небе южного полушария как два больших пятна примерно такой же поверхностной яркости, как и Млечный Путь. Расстояние до Магеллановых Облаков «всего лишь» около 200 тыс. световых лет, что вполне сравнимо с общей протяженностью нашей Галактики. Другая «близкая» к нам галактика — это туманность в созвездии Андромеды. Она видна невоору-



женным глазом как слабое световое пятнышко. На самом деле это огромный звездный мир, по количеству звезд и полной массе раза в три превышающий нашу Галактику, которая, в свою очередь, является гигантом среди галактик. Многие из галактик удалены от нас на расстояния, которые свет проходит за миллиарды лет. Это означает, что этот свет был излучен такой удаленной галактикой еще задолго до архейского периода геологической истории Земли!

Мир галактик поражает своим разнообразием. Галактики резко отличаются размерами, числом входящих в них звезд, светимостью, внешним видом. По внешнему виду галактики условно разделены на три основных типа: эллиптические, спиральные и неправильной формы. Первоначальной стадией являются галактики неправильной формы. Из них возникают спиральные галактики, имеющие четко выраженную форму вращения. И наконец, третьей стадией являются эллиптические галактики, имеющие сфероидальную форму.

*Неправильные* галактики состоят из значительных масс газопылевой материи и из «молодых» звезд, излучающих большое количество энергии, где отсутствуют ядра. Подобные звезды, существующие и в нашей Галактике, относятся к так называемому «населению I», в отличие от «старых» звезд, которые составляют «население II». Представителей звезд «населения II» в неправильных галактиках не обнаружено. Два больших звездных облака, которые получили название Большое и Малое Магеллановы облака, относятся к типу неправильных галактик. Они являются спутниками нашей Галактики. Неправильные галактики значительно меньше спиральных и встречаются редко.

*Спиральные* галактики состоят как из «звезд населения I», так и звезд «населения II». Здесь имеются четко выраженные сферические подсистемы, составляющие ядро, и плоские подсистемы, образующие спиральные ветви Галактики. Наша Галактика принадлежит к числу спиральных. Ветви спиральных галактик, как и у нашей Галактики, состоят из горячих звезд, цефеид, сверхгигантов, рассеянных звездных скоплений и газовых туманностей. Галактики излучают различные электромагнитные волны. Такие излучения исходят от нейтрального водорода, а также от ионизированного горячего водорода в светлых туманностях. Нейтрального водорода в них содержится около 10% от массы галактики.

В *эллиптических* туманностях преобладают звезды «населения II», образующие сферические подсистемы. Спиральные ветви здесь уже отсутствуют, и соответственно очень редко встречаются звезды «населения I». Эллиптические галактики можно рассматривать как системы, которые израсходовали основную массу диффузной материи вследствие образования из нее звезд и находятся на завершающей стадии эволюции. Они вращаются крайне медленно и потому слабо сплюснуты в отличие от быстро вращающихся спиральных галактик. По виду эллиптические галактики похожи на шаровые звездные скопления. Они не содержат ни звезд-сверхгигантов, ни диффузных туманностей.

Итак, развитие галактик, по-видимому, начинается с огромного, медленно вращающегося протооблака газа и пыли, которое по мере сжатия начинает вращаться с увеличивающейся скоростью. В процессе сжатия происходит образование звезд различных масс и светимостей. Постепенно в неправильной галактике возникают ядро и звездные спиральные ветви, имеющие центральную переемычку из темного диффузного вещества. Вначале ядро галактики относительно невелико по своей массе, но с развитием системы оно увеличивается, так что постепенно спиральная галактика переходит в эллиптическую. В эллиптической галактике темное диффузное вещество присутствует уже в относительно небольшом количестве, так как оно уже пошло на образование звезд.

Галактики, подобно звездам, наблюдаются группами. Например, нашу Галактику, Магеллановы Облака и еще около 20 небольших спутников нашей Галактики можно рассматривать как кратную систему. Согласно современным представлениям для Вселенной характерна ячеистая (иногда говорят сетчатая или пористая) структура.

Самые далекие из наблюдаемых объектов находятся от нас на расстоянии около 10 млрд световых лет. До ближайших звезд нашей Галактики — несколько световых лет. Промежуточные расстояния можно описать следующим образом. Диаметр нашей Галактики — почти 100 тыс. световых лет. Эта величина в несколько десятков тысяч раз превышает расстояние до ближайших звезд, наша Галактика не принадлежит к числу маленьких. Размер среднего скопления галактик еще в 100 раз больше, он может превышать десяток миллионов световых лет. Размеры наибольших различимых деталей в распределении галактик типа нитей и пустот еще в десятки

раз больше. Но все равно размеры этих деталей в 50—100 раз меньше размеров всей наблюдаемой части Вселенной.

Есть данные о возможном наличии во Вселенной не-светящегося вещества, так называемой скрытой массы. Ее средняя плотность может раз в десять превышать среднюю плотность светящегося вещества, сосредоточенного в звездах и галактиках. В какой форме реализована эта скрытая масса, пока неизвестно.

Наблюдаемый факт имеет грандиозное значение и состоит в том, что система галактик не является статичной, а расширяется. Конечно, отдельные галактики и компактные скопления образуют стабильные гравитационно связанные системы и не расширяются. Закон расширения устанавливается наиболее четко для системы скоплений галактик. Обычно рассматривают ярчайшие члены скоплений, расположенные, как правило, в центрах скоплений. Из огромного числа наблюдений вытекает, что для любой пары таких объектов скорость их удаления друг от друга пропорциональна расстоянию между ними.

Такой простой закон применим по крайней мере к галактикам, для которых входящая в это соотношение скорость меньше скорости света. Коэффициент пропорциональности между скоростью разбегания галактик и расстоянием между ними называется параметром Хаббла. Обратная величина имеет размерность времени, ее-то и называют возрастом Вселенной. Это название обусловлено тем, что, разлетаясь с постоянной относительной скоростью, любая пара объектов успела бы за это время увеличить взаимное расстояние от нуля до наблюдаемого сейчас значения. По современным данным, возраст Вселенной равен 10—20 млрд лет.

Известны независимые оценки возраста отдельных астрономических систем: Солнечной системы, звезд, звездных скоплений, галактик. Эти оценки основаны на данных об относительном содержании различных химических элементов и на теории звездной эволюции. Возраст Солнечной системы оценивается в 5 млрд лет, возраст старейших шаровых звездных скоплений и косвенно галактик 11—13 млрд лет.

При расширении средняя плотность вещества падает, и, следовательно, в догалактическую эпоху оно было более плотным и горячим. Можно с уверенностью сказать, что 10—20 млн лет назад Вселенная была совершенно не похожа на ту, которую мы сейчас наблюдаем. Этот вывод убедительно подтверждается существованием так называемого реликтового

излучения, открытого в 1965 г. с помощью радиотелескопов. От излучения изолированных объектов оно отличается тем, что приходит не от отдельных источников, а со всех направлений, равномерно заполняя всю небесную сферу. Его температура около трех градусов по абсолютной шкале.

Еще одна группа наблюдаемых явлений, входящая важной составной частью в наши представления о современной и ранней Вселенной, касается химического состава окружающего нас вещества. Самым распространенным элементом является водород. На его долю приходится около 75% всей массы вещества. Почти все остальное — на долю гелия. Легкие и тяжелые элементы, встречающиеся в природе, представлены лишь долями процента. Все вместе они едва ли дают 2% вклада в общую массу вещества. С этой точки зрения планеты, построенные из тяжелых элементов, являются чрезвычайно большой редкостью.

Элементы от углерода до железа возникают в недрах звезд на спокойной стадии их эволюции как продукт термоядерных реакций. Более тяжелые элементы образуются во взрывных процессах типа вспышек сверхновых звезд. В результате взрывов массивных звезд, быстро заканчивающих свою эволюцию, разнообразные химические элементы попадают в межзвездный газ. Гелий и некоторые другие легкие элементы имеют дозвездное происхождение.

## Выводы

1. Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются *звезды* — небесные тела, аналогичные нашему Солнцу и находящиеся в состоянии плазмы. Некоторые из звезд имеют обращающиеся вокруг них планетные системы, подобные Солнечной системе. Земля является макротелом астрономического масштаба, одной из девяти планет, обращающихся вокруг звезды — Солнца.

2. Солнце, звезды и звездные скопления, наблюдаемые на небе, образуют систему, которую мы называем нашей Галактикой. *Галактика* (греч. «galaktikos» — млечный, молочный) — наша звездная система, включающая звезды Млечного пути —  $2 \cdot 10^{11}$  звезд, в том числе Солнце со всеми планетами. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики.

3. Галактики имеют тенденцию располагаться по границам гигантских ячеек. Ячеистая структура распределения галактик является наиболее крупной структурой Метагалактики — видимой части Вселенной. Система галактик и их скоплений называется Метагалактикой.

4. *Вселенная* — весь материальный мир, безграничный в пространстве, развивающийся во времени, окружающий нас и познаваемый нами. Всеобъемлющая Вселенная — это вся материя в целом, взятая во всем ее потенциально возможном пространственно-временном структурном многообразии как совокупное множество всех потенциально возможных материальных миров.

5. *Космос* (греч. — строй, порядок, мир, Вселенная) — синоним астрономического определения Вселенной; часто выделяют так называемый ближний космос — межпланетную и околоземную среду, исследуемую при помощи космических летательных аппаратов, а также дальний космос — мир звезд и галактик.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Мысль никогда не должна подчиняться  
ни догме, ни направлению, ни страсти,  
ни интересу, ни предвзятой идее,  
ни чему бы то ни было, кроме фактов,  
потому что для нее подчиниться —  
значило бы перестать существовать.

*А. Пуанкаре*

### План семинара

1. Методы исследования в мегамире
2. Земля. Планеты и их спутники.
3. Солнце. Звезды.
4. Галактика. Классификация галактик.
5. Метагалактика. Вселенная.

### Методические советы и упражнения

#### Основные понятия

**Созвездия** — участки звездного неба, разделенные строго установленными границами.

**Параллактическое смещение** — изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.

**Суточный параллакс** — угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения.

**Годичный параллакс** — угол, под которым со светила виден средний радиус земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения.

**Звездное скопление** — группа звезд, которые расположены близко друг к другу и связаны взаимным тяготением.

**Пульсары** — нейтронные звезды, излучающие строго периодические радиоизлучения с короткими периодами.

**Квазары** — самые удаленные объекты Вселенной, являющиеся квазизвездными радиоисточниками.

**Световой год** — расстояние, которое проходит свет за год со скоростью 300 000 км/с.

**Парсек** — расстояние, с которого годичный параллакс равен одной секунде.

**Солнце** — звезда, относящаяся к желтым карликам, расположенная на окраине Галактики.

### Задачи и упражнения

1. Шаровое звездное скопление, находящееся на расстоянии 2,5 Мпк, удаляется от нас со скоростью 250 км/с. Определите постоянную Хаббла и укажите ее физический смысл.

2. В галактике с красным смещением в спектре, соответствующим скорости удаления 50 000 км/с, вспыхнула сверхновая звезда. Определите ее расстояние до галактики.

3. Галактика расположена от нас на расстоянии, равном  $4 \cdot 10^6$  пк. С какой скоростью она удаляется от нас?

### Тестовые задания

1. Основные структурные элементы крупномасштабной структуры Вселенной.

- а) планеты;
- б) звезды;
- в) туманности;
- г) планетные системы;
- д) галактики.

2. Парсек — это единица измерения расстояний...

- а) удобная для любого масштаба;
- б) в микромире;

- в) макромире;
  - г) мегамире.
3. Световой год...
- а) больше парсека;
  - б) меньше парсека;
  - в) равен парсеку;
  - г) они не сопоставимы.
4. Один парсек — это характерное...
- а) межзвездное расстояние;
  - б) межгалактическое расстояние;
  - в) размер звезд;
  - г) размер планетных систем;
  - д) размер галактик.
5. Радиус Солнца близок к...
- а) 1 млн км;
  - б) 100 тыс. км;
  - в) 10 млн км;
  - г) 100 млн км;
  - д) 10 тыс. км.
6. Характерные размеры галактик:
- а)  $10^{10}$  м; б)  $10^{15}$  м; в)  $10^{20}$  м; г)  $10^{25}$  м; д)  $10^5$  м.
7. Характерные размеры обычных звезд:
- а)  $10^8$  м; б)  $10^5$  м; в)  $10^{12}$  м; г)  $10^{15}$  м; д)  $10^{20}$  м.
8. Диаметр нашей галактики близок...
- а) 30 тыс. пк;
  - б) 3 тыс. пк;
  - в) 0,3 тыс. пк;
  - г) 300 тыс. пк;
  - д) 3000 тыс. пк.
9. Тип галактик, которых больше всего наблюдается во Вселенной:
- а) спиральные;
  - б) эллиптические;
  - в) линзовидные;
  - г) неправильные.
10. Наша Галактика:
- а) спиральная;
  - б) эллиптическая;
  - в) линзовидная;

- г) неправильная;
- д) неопределенного типа.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие закономерности обнаружены в строении, движении и свойствах Солнечной системы?
2. Каковы основные параметры, определяющие свойства звезд?
3. Как распределены галактики во Вселенной?
4. Чем отличаются понятия Метагалактика и Вселенная?
5. Как соотносятся между собой понятия «мир», «космос», «Вселенная»?
6. Как можно истолковать такое высказывание: «Вселенная, в которой мы живем, безгранична, но конечна»?
7. Можно ли считать Солнечную систему единственной планетной системой?
8. Какова структура Солнечной системы?
9. Назовите большие планеты Солнечной системы.
10. Какая из планет расположена наиболее близко к Солнцу?
11. Какие из планет земной группы имеют атмосферу?
12. В чем отличия атмосферы Земли от атмосферы других планет?

### Литература

1. *Бакунин, И. И.* Курс общей астрономии / И. И. Бакунин, Э. В. Кононович, В. И. Мороз. — 5-е изд. — М., 1983. — 543 с.
2. *Мартынов, Д. Я.* Курс общей астрофизики. — 3-е изд. — М., 1979. — 660 с.
3. *Соболев, Р. В.* Курс теоретической астрофизики. — М., 1986. — 480 с.
4. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2004. — 690 с.
5. *Дагаев, И. М.* Астрофизика / И. М. Дагаев, В. М. Чагурин. — М., 1983. — 348 с.



## Глава 10

# ХАРАКТЕР ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИРОДЫ

### 10.1. Детерминизм процессов природы

Все наши знания — прошлые, настоящие  
и будущие — ничто по сравнению с тем,  
о чем мы никогда не узнаем.

*К. Э. Циолковский*

**Детерминизм** в современной науке определяется как учение о всеобщей, закономерной связи явлений и процессов окружающего мира. Наличие таких связей является доказательством материального единства мира и существования в мире общих закономерностей. Очень часто детерминизм отождествляется с причинностью, но такой взгляд нельзя считать правильным хотя бы потому, что причинность выступает как одна из форм проявления детерминизма.

Законы, с которыми имеет дело классическая механика, имеют универсальный характер, т.е. они относятся ко всем без исключения изучаемым объектам природы. Отличительная особенность такого рода законов состоит в том, что предсказания, полученные на их основе, имеют достоверный и однозначный характер. Наиболее ярко они проявились после того, как на основе закона всемирного тяготения, изложенного И. Ньютоном в 1671 г. в «Математических началах натуральной философии», и законов механики возникла небесная механика. На основе законов небесной механики были вычислены отклонения в движении Урана, вызванные возмущающим влиянием неизвестной тогда планеты. Определив величину возмущения, независимо друг от друга по законам механики положение неизвестной планеты рассчитали Д. Адамс и У. Леверье. Всего на угловом

расстоянии в  $1^\circ$  от рассчитанного ими положения И. Галле обнаружил планету Нептун. Открытие Нептуна, сделанное на кончике пера, как отметил Ф. Энгельс, блестяще подтвердило справедливость законов небесной механики и наличие в природе однозначных причинно-следственных связей. Это позволило французскому механику П. Лапласу сказать: «Дайте мне начальные условия, и я с помощью законов механики однозначно предскажу дальнейшее развитие событий». Это вошло в историю как лапласовый, или механистический, детерминизм, который допускает однозначные причинные связи в явлениях природы.

Наряду с законами небесной механики в науке с середины XIX в. стали все шире применяться законы другого типа. Заключение на их основе не является однозначным, а только вероятностным, поскольку не следуют логически из имеющейся информации, а потому не являются достоверными и однозначными. Информация при этом носит статистический характер, законы, выражающие эти процессы, называют статистическими законами, и этот термин получил в науке большое распространение.

В классической науке статистические законы не признавались подлинными законами, так как в прошлом ученые предполагали, что за ними должны стоять такие же универсальные законы, как закон всемирного тяготения Ньютона, который считался образцом детерминистического закона, поскольку он обеспечивает точные и достоверные предсказания приливов и отливов, солнечных и лунных затмений и других явлений природы. Статистические же законы признавались в качестве удобных вспомогательных средств исследования, дающих возможность представить в компактной и удобной форме всю имеющую информацию о каком-либо предмете исследования. Подлинными законами считались именно детерминистические законы. Эта терминология сохранилась до настоящего времени, когда статистические, или вероятностные, законы квалифицируются как индетерминистические, с чем вряд ли можно согласиться.

Отношение к статистическим законам принципиально изменилось после открытия законов квантовой механики, предсказания на основе которых имеют существенно вероятностный характер.

Таким образом, исторически **детерминизм** выступает в двух следующих формах.

1. *Лапласовый*, или *механистический*, детерминизм, в основе которого лежат универсальные законы классической физики.

2. *Вероятностный* детерминизм, опирающийся на статистические законы и законы квантовой физики.

В динамических теориях явления природы подчиняются однозначным (динамическим) закономерностям, а статистические теории основаны на объяснении процессов вероятностными (статистическими) закономерностями. К динамическим теориям относятся классическая механика (создана в XVII—XVIII вв.), механика сплошных сред, т.е. гидродинамика (XVIII в.), теория упругости (начало XIX в.), классическая термодинамика (XIX в.), электродинамика (XIX в.), специальная и общая теория относительности (начало XX в.). К статистическим теориям относятся статистическая механика (вторая половина XIX в.), микроскопическая электродинамика (начало XX в.), квантовая механика (первая треть XX в.). Таким образом, XIX столетие получается столетием динамических теорий; XX — столетием статистических теорий. Значит, динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории.

В современной концепции детерминизма органически сочетаются необходимость и случайность. Признание самостоятельности статистических, или вероятностных, законов, отображающих существование случайных событий в мире, дополняет прежнюю картину строго детерминистического мира. В результате в новой современной картине мира необходимость и случайность выступают как взаимосвязанные и дополняющие друг друга аспекты объяснения окружающего мира.

Рассматривая проблему соотношения между динамическими и статистическими закономерностями, современная наука исходит из концепции примата статистических закономерностей. Не только динамические, но и статистические законы выражают объективные причинно-следственные связи. Более того, именно статистические закономерности являются фундаментальными, более глубокими по сравнению с динамическими закономерностями, они ярче выражают указанные связи.

Современную концепцию детерминизма можно сформулировать следующим образом: динамические законы пред-

ставляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего мира; статистические же законы более совершенно отображают объективные связи в природе: они являются следующим, более высоким этапом познания.

В качестве примера динамических законов можно назвать закон Ома, выражающий зависимость сопротивления от его состава, площади поперечного сечения и длины. Этот закон охватывает множество различных проводников и действует в каждом отдельном проводнике, входящем в это множество.

Статистический характер имеет, например, взаимосвязь изменений давления газа и его объема при постоянной температуре, выявленная Бойлем и Мариоттом. Данная закономерность имеет место лишь в массе хаотически перемещающихся молекул, составляющих тот или иной объем газа. Статистическими являются законы квантовой механики, касающиеся движения микрочастиц; они не в состоянии определить движение каждой отдельной частицы, но определяют движение группы, того или иного множества.

В отличие от динамических статистические законы не позволяют точно предсказать наступление или ненаступление того или иного конкретного явления, направление и характер изменения тех или иных его характеристик. На основе статистических закономерностей можно определить лишь степень вероятности возникновения или изменения соответствующего явления.

Динамические теории не противостоят статистическим, а включаются в рамки последних как предельный случай. Это хорошо видно на примере классической механики, которую можно рассматривать как предельный случай квантовой механики.

Таким образом, согласно современной научной концепции можно говорить о всеобщности, универсальности вероятностного подхода. Это означает, в частности, что деление фундаментальных теорий на динамические и статистические является, строго говоря, условным. Фактически все фундаментальные теории должны рассматриваться как статистические. Например, классическую механику с полным основанием следует считать статистической теорией, так как лежащий в ее основе принцип наименьшего действия имеет вероятностную природу, потому что состояния с наименьшей энергией согласно принципу минимума энергии оказываются наиболее вероятными.

Методологические вопросы современной физики органически связаны с вопросами материалистической диалектики. Развитие современной физики основано на диалектике необходимого и случайного, сохранения и изменения, единичного и общего и т.д. Современная физика пришла к выводу о фундаментальности вероятностных закономерностей. Наука рассматривает два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономерностей — динамические и статистические. Изучение истории возникновения фундаментальных физических теорий позволяет сделать вывод, что динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории. Наиболее ярко сочетание этих концепций детерминизма в познании природных явлений проявилось при изучении термодинамических процессов и явлений. Рассмотрим основные концепции этих методов в применении к термодинамике.

## 10.2. Детерминизм в тепловых процессах природы

Человек может сделать путь великим,  
не путь делает великим человека.

*Конфуций*

История открытия закона сохранения и превращения энергии привела к изучению тепловых явлений в двух направлениях: термодинамическом, изучающем тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества, и молекулярно-кинетическом, исследующем тепловые явления как результат совместного действия огромной совокупности движущихся частиц, из которых состоит вещество. Термодинамика возникла из обобщения многочисленных фактов, описывающих явления передачи, распространения и превращения тепла. Молекулярно-кинетическое направление характеризуется рассмотрением различных макропроявлений систем как результата суммарного действия огромной совокупности хаотически движущихся молекул. При этом молекулярно-кинетическая теория использует статистический метод, интересуясь не движением отдельных молекул, а только средними величинами, которые характеризуют движение огромной совокупности частиц. Отсюда другое ее

название — статистическая физика. Оформившись к середине XX в., оба эти направления подходят к рассмотрению изучения состояния вещества с различных точек зрения и дополняют друг друга, образуя одно целое.

На основе исследований Джоуля, Майера и других ученых установлено так называемое **первое начало термодинамики**. Клаузиус первым высказал мысль об эквивалентности работы и количества теплоты как о первом начале термодинамики. Всякое тело имеет внутреннюю энергию, которую Клаузиус назвал «теплом, содержащимся в теле» ( $U$ ) в отличие от «тепла, сообщенному телу» ( $Q$ ). Величину  $U$  можно увеличить двумя эквивалентными способами, произведя над телом механическую работу ( $A$ ) или сообщая ему количество теплоты ( $Q$ ).

Общепризнанным является тот факт, что распространение тепла представляет собой необратимый процесс и тепло передается от горячего тела к холодному, а не наоборот. Важной концепцией термодинамики является то, что при работе тепловой машины не все количество теплоты, взятое у нагревателя, передается холодильнику (рис. 10.1). Часть этой теплоты превращается в работу, совершаемую машиной. Клаузиус показал, что объяснение превращения теплоты в работу основывается еще на одном принципе, сформулированном С. Карно, утверждающем, что в любом непрерывном процессе превращения теплоты от горячего нагревателя в работу непременно должна происходить отдача теплоты холодильнику. Совершаемая при этом тепловая работа ( $A$ ) оценивается коэффициентом полезного действия ( $\eta$ ) следующим образом:  $\eta = A/Q_1$ , где  $Q_1$  — количество теплоты, переданное нагревателем. Максимальный коэффициент полезного действия имеет идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, коэффициент по-

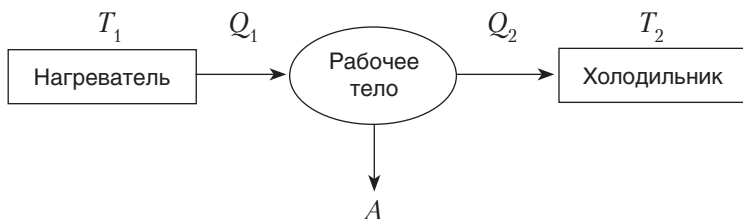


Рис. 10.1. Схема тепловой машины

лезного действия которой определяется как  $\eta = (T_1 - T_2)/T_2$ , где  $T_1$  — абсолютная температура нагревателя,  $T_2$  — абсолютная температура холодильника.

Таким образом, имеет место общее свойство теплоты, заключающееся в том, что теплота «всегда обнаруживает тенденцию к уравниванию температурной разницы путем перехода от теплых тел к холодным». Это положение Клаузиус предлагает назвать «вторым основным положением механической теории теплоты» и в современную науку вошло как **второе начало термодинамики**.

Все эти многочисленные факты и нашли свое обобщение и теоретическое объяснение в законах классической термодинамики:

1) если к системе подводить тепло  $Q$  и над ней производится работа  $A$ , то энергия системы возрастает до величины  $U$ :  $U = Q + A$ . Эту энергию  $U$  называют внутренней энергией системы;

2) невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при постоянной температуре, т.е. тепло не может перетечь самопроизвольно от холодного тела к горячему.

В первом законе речь идет о сохранении энергии, а во втором — о невозможности производства работы исключительно за счет изъятия тепла из одного резервуара при постоянной температуре, т.е. о направлении тепловых процессов в природе.

Благодаря работам австрийского физика Людвиг Больцмана термодинамика была сведена с макроскопического уровня на микроскопический. Состояние макроскопического тела (системы), заданное с помощью макропараметров (параметров, которые могут быть измерены макроприборами, — давление, температура, объем и другие макроскопические величины, характеризующие систему в целом), называют макросостоянием. Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что оказываются заданными состояния всех образующих тело молекул, называется микросостоянием. Всякое макросостояние может быть осуществлено различными способами, каждому из которых соответствует некоторое микросостояние системы. Число возможных различных микросостояний, соответствующих данному макросостоянию, называют термодинамической вероятностью ( $W$ ) макросостояния.

### 10.3. Концепции энтропии в естествознании

Самое великое достижение человеческого гения заключается в том, что человек может понять то, что он уже не в состоянии себе представить.

*Л. Ландау*

В 1865 г. немецкий физик Рудольф Клаузиус для формулировки второго закона термодинамики ввел новое понятие — «**энтропия**» (*греч.* — поворот, превращение). Клаузиус считал, что существует некая величина  $S$ , которая, подобно энергии, давлению, температуре, характеризует состояние газа. Когда к газу подводится некоторое количество теплоты —  $\Delta Q$ , то энтропия  $S$  возрастает на величину, равную  $\Delta S = \Delta Q/T$ .

В течение длительного времени ученые не делали различий между теплотой и температурой. Однако ряд явлений указывали на то, что эти понятия следует различать. Например, при плавлении кристаллического тела теплота расходуется, а температура тела не изменяется в процессе плавления. После введения Клаузиусом понятия энтропии стало понятно, где пролегает граница четкого различия таких понятий, как теплота и температура. Дело в том, что нельзя говорить о каком-то количестве теплоты, заключенном в теле. Это понятие не имеет смысла. Теплота может передаваться от тела к телу, переходить в работу, возникать при трении, но при этом она не является сохраняющейся величиной. Поэтому теплота определяется в физике не как вид энергии, а как мера изменения энергии. В то же время введенная Клаузиусом энтропия, как и температура, оказалась величиной, сохраняющейся в обратимых процессах; это означает, что энтропия системы может рассматриваться как функция состояния системы, ибо изменение ее не зависит от вида процесса, а определяется только начальным и конечным состоянием системы.

Было также показано, что изменения энтропии в случае обратимых процессов не происходит, т.е.  $\Delta S = 0$ . Следовательно, энтропия изолированной системы в случае обратимых процессов постоянна. При необратимых процессах получаем закон возрастания энтропии:

$$\Delta S > 0.$$



Для описания термодинамических процессов первого закона термодинамики оказывается недостаточно, ибо первое начало термодинамики не позволяет определить направление протекания процессов в природе. Тот факт, что энтропия изолированной системы не может убывать, а только возрастает и достигает максимального значения в равновесном состоянии, является отражением того, что в природе возможны процессы, протекающие только в одном направлении — в направлении передачи тепла от более горячих тел менее горячим.

Физический смысл энтропии и само понятие энтропии введено в физическую теорию, чтобы отличать в случае изолированных систем обратимые процессы, при которых энтропия максимальна и постоянна, от необратимых процессов, когда энтропия возрастает.

Идея Больцмана о вероятностном поведении отдельных молекул явилась развитием нового подхода при описании систем, состоящих из огромного числа частиц, впервые высказанного Д. Максвеллом. Он ввел для описания случайного характера поведения молекул понятие вероятности, вероятностный (статистический) закон. В дальнейшем Больцман показал, что второй закон термодинамики также является следствием более глубоких статистических законов поведения большой совокупности частиц. Он же интерпретировал понятие энтропии в терминах изменения порядка в системе. Когда энтропия системы возрастает, то соответственно усиливается беспорядок в системе, т.е. энтропия выражает меру беспорядка системы. В таком случае **второй закон термодинамики** постулирует: энтропия замкнутой системы, т.е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, постоянно возрастает, а это означает, что такие системы эволюционируют в сторону увеличения в них беспорядка, хаоса и дезорганизации, пока не достигнут точки термодинамического равновесия, в которой всякое производство работы становится невозможным.

Больцман первым увидел связь между энтропией и вероятностью. В 1906 г. Макс Планк вывел формулу, выражающую основную мысль Больцмана об интерпретации энтропии как логарифма вероятности состояния системы:  $S = k \ln W$ . Коэффициент пропорциональности  $k$  рассчитан Планком и назван им постоянной Больцмана. Формула  $S = k \ln W$  выгравирована на памятнике Больцману на кладбище в Вене.

Основываясь на связи энтропии с вероятностью, Больцман сформулировал второе начало термодинамики — природа стремится перейти из состояний менее вероятных в более вероятные. Хаотическое движение молекул наиболее вероятно, оно осуществляется наибольшим числом способов. Поэтому любое упорядоченное движение стремится самопроизвольно перейти в неупорядоченное. Переход механического движения в теплоту за счет трения означает утрату упорядоченности, переход к более вероятному хаотическому движению, и этот процесс необратим. При такой статистической формулировке второе начало теряет категоричность, переход в состояние с большей энтропией более вероятен.

Таким образом, энтропия изолированной системы при протекании необратимых процессов возрастает, ибо система, предоставленная самой себе, переходит из менее вероятного состояния в более вероятное. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии, максимальна и постоянна ( $\Delta S = 0$ ).

Из зависимости энтропии от вероятности можно дать статистическое определение энтропии: энтропия есть мера неупорядоченности системы. Чем больше неупорядоченность системы, тем большим числом возможных микросостояний она характеризуется и тем больше ее энтропия. Например, при конденсации газа энтропия системы убывает, так как молекулы размещаются более упорядоченно. При кристаллизации жидкости растет степень упорядоченности молекул и происходит еще большее уменьшение энтропии. При абсолютном нуле температуры всякое тепловое движение прекращается, неупорядоченность исчезает, число возможных микросостояний уменьшается до одного и энтропия приближается к нулю.

Изменение энтропии происходит при протекании химических реакций. Для примера рассмотрим одну из самых распространенных реакций взаимодействия элементов с кислородом — реакцию окисления. Реакция взаимодействия кислорода с железом происходит в организме, когда кислород соединяется с атомами железа, содержащегося в красных кровяных тельцах — эритроцитах. Поэтому наша кровь имеет цвет ржавчины из-за реакции

$$4\text{Fe}_{(\text{тверд})} + 3\text{O}_{2(\text{газ})} = 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{тверд})}.$$

В результате этой реакции энтропия веществ понизилась, так как продукты реакции более упорядочены и потому обладают меньшей энтропией.

При распаде чистого вещества на составные части хаос растет и возникшая неупорядоченность повышает энтропию. Поскольку об изменении системы в классической термодинамике мы можем судить по увеличению энтропии, то последняя и выступает в качестве своеобразной стрелы времени. Термодинамика впервые ввела в физику понятие времени в весьма своеобразной форме, а именно необратимого процесса возрастания энтропии в системе. Чем выше энтропия системы, тем больший временной промежуток прошла система в своей эволюции. Такое понятие о времени, и особенно об эволюции системы, в термодинамике коренным образом отличается от понятия времени и эволюции, которое лежало в основе эволюционной теории Дарвина. В то время как в дарвиновской теории происхождения новых видов растений и животных путем естественного отбора эволюция направлена на выживание более совершенных организмов и усложнение их организации, в термодинамике эволюция связывалась с дезорганизацией систем. В таком случае становилось непонятным, каким образом из неживой природы, системы которой имеют тенденцию к дезорганизации, могла появиться когда-либо живая природа, где системы, напротив, стремятся к совершенствованию и усложнению своей организации. Все это показало, что результаты исследования классической термодинамики находились в явном противоречии с тем, что было хорошо известно из других направлений науки. Это противоречие оставалось неразрешенным вплоть до 60-х гг. XX в., пока не появилась новая, неравновесная термодинамика, которая опирается на концепцию необратимых процессов, рассматриваемых в гл. 20.

## 10.4. Проблемы «тепловой смерти» Вселенной

Ограничение области знания лишь  
небольшой группой людей ослабляет  
философский дух народа и ведет  
к духовному обнищанию.

*А. Эйнштейн*

Классическая термодинамика оказалась неспособной решить и космологические проблемы характера протекания процессов, происходящих во Вселенной. Уильям

Томпсон экстраполировал принцип возрастания энтропии на крупномасштабные процессы, протекающие в природе. На основе этого Р. Клаузиус распространил этот принцип на Вселенную в целом, что привело его к гипотезе о тепловой смерти Вселенной. Все физические процессы согласно второму началу термодинамики протекают в направлении передачи тепла от более горячих тел к менее горячим. Это означает, что медленно, но верно идет процесс выравнивания температуры во Вселенной. Следовательно, будущее вырисовывается перед нами в достаточно трагических тонах: ожидается исчезновение температурных различий в природе и превращение всей мировой энергии в теплоту, равномерно распределенную во Вселенной. Отсюда Клаузиус выдвинул два постулата:

1. Энергия Вселенной всегда постоянна.
2. Энтропия Вселенной всегда растет в сторону максимума.

Если принять второй постулат, то необходимо признать, что процессы во Вселенной направлены в сторону достижения состояния термодинамического равновесия, соответствующего максимуму энтропии, а следовательно, состояния, характеризуемого наибольшей степенью хаоса, беспорядка и дезорганизации. В таком случае во Вселенной наступит тепловая смерть и никакой полезной работы в ней произвести будет нельзя.

Вытекающий отсюда вывод о грядущей тепловой смерти Вселенной означает прекращение каких-либо физических процессов вследствие перехода Вселенной в равновесное состояние с максимальной энтропией. На протяжении всего дальнейшего развития этот вывод привлекает внимание ученых, ибо затрагивает не только глубинные проблемы чисто научного характера, но также философско-мировоззренческие аспекты, указывающие на определенную верхнюю границу возможного существования человечества. Такие мрачные прогнозы встретили критику со стороны ряда выдающихся ученых. Однако в середине XIX в. мало было научных аргументов для опровержения мнения Р. Клаузиуса. Только единицы догадывались, что понятие закрытой, или изолированной, системы является далеко идущей абстракцией, не отражающей реального характера систем, которые встречаются в природе.

С научной точки зрения возникают проблемы правомерности следующих экстраполяций, высказанных Клаузиусом:

1. Вселенная рассматривается как замкнутая система.
2. Эволюция мира может быть описана как смена его состояний.

3. Для мира как целого состояние с максимальной энтропией имеет смысл, как и для любой конечной системы.

Проблемы эти представляют несомненную трудность и для современной физической теории. Решение их следует искать в общей теории относительности и развивающейся на ее основе современной космологии. Многие теоретики считают, что в общей теории относительности мир как целое должен рассматриваться не как замкнутая система, а как система, находящаяся в переменном гравитационном поле. В связи с этим применение закона возрастания энтропии не приводит к выводу о необходимости в нем статистического равновесия.

Проблему будущего развития Вселенной пытался разрешить и Больцман, применивший к замкнутой Вселенной понятие флуктуации. Под флуктуацией какой-то физической величины понимается отклонение истинного значения данной величины от ее среднего значения, обусловленного, например, хаотическим тепловым движением частиц системы. Больцман принял ограничение Максвелла, согласно которому для небольшого числа частиц второе начало термодинамики не должно применяться, ибо в случае небольшого числа молекул нельзя говорить о состоянии равновесия системы. При этом он использует это ограничение для Вселенной, рассматривая видимую часть Вселенной как небольшую область бесконечной Вселенной. Для такой небольшой области допустимы незначительные флуктуационные отклонения от равновесия, вследствие чего в целом исчезает необратимая эволюция Вселенной в направлении к хаосу.

К сожалению, мечта Больцмана не сбылась в полной мере. Ему не удалось найти ключ к объединению динамики и второго начала термодинамики, а предлагаемая флуктуационная модель эволюции Вселенной имела всего лишь характер гипотезы. Скептическое отношение многих ученых к атомистической теории Больцмана (сам он был убежден в том, что отстаиваемое им учение об атомах завоюет признание через много десятков лет), трудности с определением роли второго начала термодинамики в системе естествознания, а возможно, и ряд других причин привели этого замечательного ученого к трагическому концу. В 1906 г. он покончил жизнь самоубийством.

XX век вносит коррективы в изучение проблем эволюции Вселенной. Формируется новое междисциплинарное направление — **синергетика**, и на его основе возникает **теория самоорганизации сложных систем**. В отличие от закрытых, или изолированных, реальными системами в природе являются открытые системы. Они обмениваются с окружающей средой энергией, веществом и информацией. Опыт и практическая деятельность свидетельствовали, что понятие закрытой, или изолированной, системы представляет собой далеко идущую абстракцию и потому она слишком упрощает и углубляет действительность, поскольку в ней трудно или даже невозможно найти системы, которые не взаимодействовали бы с окружающей средой. Поэтому в новой термодинамике место закрытой изолированной системы заняло принципиально иное фундаментальное понятие открытой системы, которая способна обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией.

Открытая система не может быть равновесной, потому что ее функционирование требует непрерывного поступления из внешней среды энергии или вещества, богатого энергией. В результате такого взаимодействия система, как указывал Эрвин Шредингер, извлекает порядок из окружающей среды и тем самым вносит беспорядок в эту среду. В открытых системах также возникает энтропия, поскольку в них происходят необратимые процессы, но энтропия в этих системах не накапливается, как в закрытых системах, а выводится в окружающую среду. Поскольку энтропия характеризует степень беспорядка в системе, можно сказать, что открытые системы живут за счет заимствования энергии или вещества из внешней среды. Очевидно, что с поступлением новой энергии или вещества неравновесность в системе возрастает. В конечном счете прежняя взаимосвязь между элементами системы, которая определяет ее структуру, разрушается. Между элементами системы возникают новые связи, приводящие к кооперативным процессам, т.е. к коллективному поведению ее элементов. Так схематически могут быть охарактеризованы процессы самоорганизации открытых систем.

Как отмечает основоположник теории самоорганизации И. Р. Пригожин, переход от термодинамики равновесных состояний к термодинамике неравновесных процессов, несомненно, знаменует прогресс в развитии ряда областей науки.

## 10.5. Энергия и ее проявления в природе

Наука научила людей пользоваться энергией, скрытой в сокровищницах земли.

Она должна вести человека в сокровищницы неба и научить его улавливать там энергию солнечных лучей.

*К. Э. Циолковский*

Понятие энергии занимает фундаментальное положение в структуре современного естествознания. Под **энергией** понимают единую меру различных форм движения материи. Она проявляется во множестве различных видов.

В механике различают два вида энергии: кинетическую и потенциальную. *Кинетической* энергией тела называют энергию, являющуюся мерой его механического движения и измеряемую той работой, которую может совершить тело при его торможении до полной остановки. *Потенциальная* энергия определяется как свойство системы материальных тел совершать работу при изменении положения или конфигурации тел в системе. Работа, совершаемая консервативными силами при изменении конфигурации системы, т.е. расположения всех ее частей по отношению к системе отсчета, не зависит от того, как было осуществлено это изменение при переходе системы из начальной конфигурации в конечную, где система имела различные значения энергии. Значит, работа может быть определена как мера изменения энергии, а энергия — как способность тела совершать работу. Причем применительно к механическим процессам полная энергия замкнутой консервативной системы тел, равная сумме их потенциальной и кинетической энергии, остается величиной постоянной. Таким образом, всякое изменение потенциальной и кинетической энергии есть превращение потенциальной энергии в кинетическую, а кинетической в потенциальную. В случае механического движения передача энергии происходит в форме работы в процессе силового взаимодействия тел.

В случае, когда помимо консервативной силы, зависящей только от положения тела, в системе действуют и силы трения, любая работа, совершаемая над телом извне, равна сумме приращений кинетической, потенциальной и внутренней энергии. Следовательно, механическая энергия при трении переходит во внутреннюю энергию, что сопровожда-

ется изменением состояния, степени нагретости или объема тела. Величину внутренней энергии ( $U$ ) можно увеличить двумя эквивалентными способами — совершая над телом механическую работу ( $A$ ) или сообщая ему количество теплоты ( $Q$ ). При этом  $\Delta U = A + Q$ .

Итак, количество теплоты является мерой изменения внутренней энергии тела и выражает тепловую энергию. Установлен эквивалент между количеством теплоты и работой. Теплота может передаваться от тела к телу, переходить в работу, возникать при трении, но при этом она не является сохраняющейся величиной. *Механическая* и *тепловая* энергия — это только две из многих форм энергии. Все, что может быть превращено в какую-либо из этих форм, есть тоже форма энергии. Химические реакции протекают с выделением или поглощением теплоты, показывая взаимопревращение химической энергии и теплоты. Работы Фарадея и Ленца привели к открытию взаимопревращений электрической и магнитной энергии. Изучение Пельтье и Ленцем процессов, происходящих в контактах двух металлических проводников, свидетельствуют о взаимопревращении электрической энергии и теплоты. Джоуль устанавливает соотношение между величиной количества теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока через проводник, и величиной самого тока и сопротивления проводника (закон Джоуля — Ленца).

*Электрическая* и *магнитная* энергия могут проявляться как единая *электромагнитная* энергия. В частном случае электромагнитную энергию испускают нагретые тела, примером служит солнечная энергия. Иногда солнечную энергию рассматривают лишь как прямое солнечное излучение, которое накапливается на Земле в виде гидроэнергии и энергии ископаемого горючего. Интенсивность солнечной энергии на поверхности Земли в средних широтах в летнее время составляет примерно  $1 \text{ кВт/м}^2$ . Если 0,1% всей поверхности Земли преобразует эту солнечную энергию в электрическую с эффективностью 5%, то электрическая энергия, генерируемая ежегодно, будет в 40 раз больше современного годового уровня потребления ее во всем мире.

В теории относительности было показано, что энергия покоя является энергетическим выражением массы тела, находящегося в состоянии покоя. А Эйнштейн показал, что энергия покоя тела с массой  $m_0$  равна  $E_0 = m_0 c^2$ .



Согласно этой формуле один грамм вещества обладает энергией покоя  $9 \cdot 10^{13}$  Дж ( $10^{33}$  эВ). В обычных условиях колоссальная энергия покоя находится как бы в скрытом состоянии. Условия, при которых возможно освобождение всей энергии покоя вещества, весьма необычны: каждый атом тела должен встречаться с антиатомом антитела. При такой встрече произойдет процесс аннигиляции, т.е. превращения энергии покоя обоих тел в другую форму энергии (например, в энергию покоя и кинетическую энергию образующихся при аннигиляции более легких, чем нуклоны, частиц). Разумеется, аннигиляция элементарных частиц пока практического значения (как источник энергии) не имеет, так как для создания условий, при которых она может происходить, приходится затрачивать неизмеримо больше энергии, чем ее выделяется при аннигиляции.

Далеко не все вещества пригодны как источники энергии, и величина выделяемой энергии веществами имеет существенные различия. Например, величина энергии, необходимой для того, чтобы удерживать валентный электрон в атоме, составляет всего несколько электрон-вольт (эВ), в то время как величина энергии, связывающей нуклоны (протоны и нейтроны) в атомном ядре, достигает порядка 10 млн эВ на каждый нуклон. Следовательно, энергия, высвобождаемая на один атом при сжигании ископаемого горючего, составляет несколько электрон-вольт, в то время как энергия, высвобождаемая в результате ядерных взаимодействий, исчисляется миллионами электрон-вольт (МэВ).

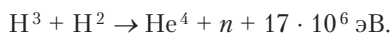
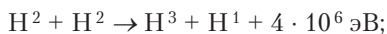
Химическая реакция (химическая энергия):



Реакция деления ядер (атомная энергия):



Реакция синтеза ядер (термоядерная энергия):



Полная энергия, запасенная во всех делящихся материалах, имеет такой же порядок величины, что и энергия, запа-

сенная во всех месторождениях ископаемых топлив. Энергия же, выделяемая в результате синтеза ядер, практически неограниченна.

Современная энергетика в основном базируется на горючих ископаемых, каковыми являются каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть и газ. В настоящее время в мире добывается около 7 млрд т условного топлива в год. Из той энергии, которая вырабатывается из органического топлива, около 25% расходуют транспорт (автомобильный, авиационный, железнодорожный, морской) и сельскохозяйственные машины, 30—35% потребляют тепловые электростанции, около 30% идет в металлургическую и химическую промышленность, в машиностроение и производство стройматериалов и не более 10% расходуется на бытовые нужды. Естественные запасы органического топлива пока еще велики, но не безграничны. Считают, что с учетом постоянного, но все уменьшающегося пополнения этих запасов их будет достаточно еще на 80 лет или, по другим данным, на 120—140 лет. Поэтому давно и совершенно естественно встал вопрос о новых источниках энергии. Решается этот вопрос во многих направлениях. Наиболее надежным из них считается расширение перспектив привлечения гидроресурсов, доля которых в стационарной энергетике сегодня составляет 17%. Но расширение сети гидроэлектростанций возможно лишь до определенного предела, разрешенного экологическими нормами. Этот предел применительно к большим рекам нашей страны достигнут, хотя в Дагестане есть еще резервы. Ставится задача использования энергии приливов и отливов морей, энергии ветра и волн. Не прекращается поиск новых запасов нефти на шельфах морского побережья. Но сжигание даже и добываемых ныне 7 млрд т органического топлива ведет к выбросу в атмосферу 15—17 млрд т углекислого газа с примесями CO и даже SO<sub>2</sub> со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В связи с этим в настоящее время особенно заманчивым является процесс преобразования энергии покоя в кинетическую энергию («превращение массы в энергию»). Так как при обычных условиях любое тело обладает огромным резервом неиспользуемой энергии покоя  $E_0 = m_0 c^2$ , то даже ничтожно малое уменьшение массы покоя должно приводить к заметному возрастанию кинетической энергии. Атомная энергия получается за счет «переработки» примерно 0,1% массы самого тяжелого из существующих в природе

элементов — урана, термоядерная энергия — за счет переработки части массы наиболее легких элементов, например дейтерия. В каждом из этих направлений есть две задачи: мгновенное и медленное преобразование массы в энергию. В первом направлении полностью решены обе задачи: ученые и инженеры умеют высвобождать атомную энергию как в мгновенном процессе взрывного типа (атомная бомба), так и в медленном управляемом процессе (ядерный реактор). Сегодня атомная энергия широко используется в науке, промышленности и на транспорте. Во втором направлении пока решена только половина задачи — термоядерную энергию научились высвобождать в мгновенном процессе взрывного типа (водородная бомба). Осуществление процесса медленного управляемого термоядерного синтеза оказалось настолько трудной задачей, что сейчас нельзя даже приблизительно указать, когда она будет решена. Но она будет решена, так как эти трудности, по-видимому, не носят принципиального характера.

Любое атомное ядро состоит из некоторого количества протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $A - Z$ ), удерживаемых вместе ядерными силами притяжения (сильные взаимодействия). Ядерные силы отличаются очень большой интенсивностью на расстояниях  $\sim 10^{-13}$  см и чрезвычайно быстро ослабевают с ростом расстояния. Так как для разделения ядра на нуклоны (протоны и нейтроны) надо совершить работу по преодолению ядерных сил притяжения, то энергия атомного ядра меньше энергии тех нуклонов, из которых ядро состоит. Поскольку энергия и масса связаны соотношением  $E = m \cdot c^2$ , то масса атомного ядра также меньше суммарной массы всех составляющих его нуклонов. Разность их значений, выраженная в энергетических единицах, называется энергией связи  $\Delta W$ . Она равна  $\Delta W = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\text{я}} c^2$ .

Энергия связи любого ядра положительна, и она должна составлять заметную часть, приблизительно равную 1% от его энергии покоя. Если же необходимо определить точные значения для различных ядер и подсчитать их по приведенной формуле, то можно убедиться, что они довольно сильно колеблются, в особенности у легких ядер. Доля, которую составляет энергия взаимодействия нуклонов от энергии покоя, зависит от числа взаимодействующих нуклонов. С ростом числа нуклонов она сначала возрастает, а затем уменьшается. Другими словами, нуклоны особенно прочно связаны в средних (по весу) ядрах, слабее — в тяжелых и очень легких яд-

рах. Главная причина различия в энергии связи разных ядер заключается в следующем. Все нуклоны, из которых состоит ядро, можно условно разделить на две группы: внутренние и поверхностные. Внутренние нуклоны окружены соседними нуклонами со всех сторон, поверхностные же — только с внутренней стороны. Поэтому внутренние нуклоны взаимодействуют с остальными нуклонами сильнее, чем поверхностные. Но процент внутренних нуклонов особенно мал у легких ядер (у самых легких ядер все нуклоны можно считать поверхностными) и постепенно увеличивается по мере их утяжеления. Поэтому энергия связи должна расти вместе с ростом числа нуклонов в ядре. Однако этот рост не может продолжаться очень долго, так как начиная с некоторого достаточно большого числа нуклонов ( $A = 50-60$ ) количество протонов в ядре становится настолько большим, что делается заметным их взаимное отталкивание даже на фоне сильного ядерного притяжения. Это отталкивание и приводит к снижению энергии связи у тяжелых ядер. Поэтому ядра одних атомов устойчивы, стабильны, а других атомов химических элементов — неустойчивы и нестабильны.

Из сказанного понятно и то, откуда берется энергия при синтезе легких ядер; так же как при делении тяжелых, получают более прочные (более устойчивые) ядра (с большей взаимосвязанностью нуклонов), чем исходные. Поэтому при слиянии легких ядер должна выделяться энергия.

Количество энергии синтеза, приходящейся на единицу массы, может в несколько раз превосходить удельную энергию деления.

Хорошо известно, что целый ряд атомных ядер элементов из числа встречающихся в природе, например радий, уран, торий и др., обладают способностью самопроизвольно испускать  $\alpha$ -частицы, электроны и  $\gamma$ -кванты. Такие ядра и элементы называются радиоактивными. Про них говорят, что они обладают естественной радиоактивностью. Кроме того, искусственным путем было получено множество радиоактивных ядер. Явление самопроизвольного превращения одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием элементарных частиц, называют **радиоактивностью**. Такие превращения претерпевают только нестабильные ядра.

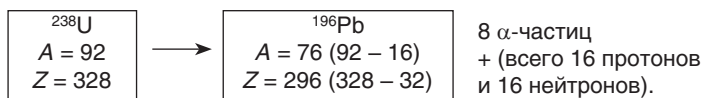
К числу радиоактивных процессов относятся:

1.  $\alpha$ -Распад.
2.  $\beta$ -Распад (в том числе электронный захват).

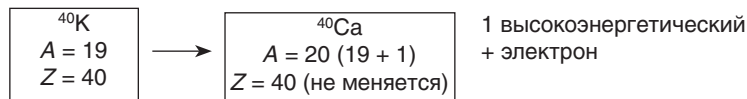
3.  $\gamma$ -Излучение ядер.
4. Спонтанное деление ядер.
5. Протонная радиоактивность.

В 1934 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри обнаружили, что у некоторых веществ (Al, V, Mg) способность испускать позитроны сохраняется на некоторое время и после того, как облучение  $\alpha$ -частицами уже прекращено. Изучение этого явления показало, что по своим свойствам оно аналогично естественной радиоактивности тяжелых элементов. Радиоактивность, наблюдающаяся у ядер, существующих в природных условиях, называется *естественной*. Радиоактивность ядер, полученных посредством ядерных реакций, называется *искусственной*. Между искусственной и естественной радиоактивностью нет принципиального различия. Процесс радиоактивного превращения в обоих случаях подчиняется одинаковым законам. Во всех видах радиоактивного превращения выполняются законы сохранения энергии, импульса, момента количества движения, электростатического, барионного и лептонного зарядов. Механизм радиоактивного распада приведен на рис. 10.2.

#### Пример $\alpha$ -распада



#### Пример $\beta$ -распада



#### Пример электронного захвата

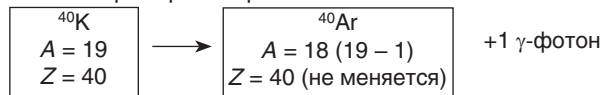


Рис. 10.2. Механизм радиоактивного распада

Одной из самых замечательных ядерных реакций является реакция деления — реакция расщепления атомного ядра на две примерно равные по массе части (осколки деления). Тяжелые ядра ( $Z \geq 90$ ) делятся как самопроизвольно (спонтанное деление), так и принудительно (вынужденное деление). В отличие от спонтанного вынужденное деление

происходит практически мгновенно ( $t < 10^{-14}$  с). Для вынужденного деления ядер с  $Z \geq 90$  достаточно их предварительно слабо возбудить, например облучая нейтронами с энергией около 1 МэВ. Некоторые ядра, например уран-235, делятся даже под действием тепловых нейтронов.

Масса (а значит, и энергия) делящегося ядра значительно превышает сумму масс осколков. В связи с этим при делении освобождается очень большая энергия —  $Q \approx 200$  МэВ, значительную часть которой ( $\approx 170$  МэВ) уносят осколки в виде кинетической энергии. Осколки деления имеют большой избыток нейтронов. Поэтому они обладают  $\beta$ -радиоактивными цепочками из продуктов деления, а также испускают мгновенные (два-три на один акт урана) и запаздывающие ( $\approx 1\%$  мгновенных) нейтроны.

Большое энерговыделение, испускание нескольких нейтронов, возможность деления при небольшом возбуждении ядра позволяют осуществить цепную реакцию деления. Идея цепной реакции деления заключается в использовании вылетевших в процессе деления нейтронов для деления новых ядер с образованием новых нейтронов и т.д. Для нарастания цепного процесса необходимо, чтобы отношение числа нейтронов в двух последовательных положениях (так называемый коэффициент размножения нейтронов  $K$ ) было больше единицы ( $K > 1$ ).

Значение коэффициента размножения зависит от числа нейтронов, испускаемых в одном акте деления; от вероятности их взаимодействия с ядрами урана и других элементов при разных энергиях; от конструкции и размеров реакторной установки. В частности, активная зона реактора (область, где развивается цепная реакция) должна иметь размеры не меньше некоторой критической величины.

Цепная реакция, протекающая в уран-графитовом реакторе на тепловых нейтронах при  $K \approx 1,005$ , относится к классу медленных управляемых цепных ядерных процессов. Естественный уран не пригоден для осуществления быстрого цепного ядерного процесса взрывного типа на быстрых нейтронах. Такой процесс был осуществлен в 1945 г. на чистом изотопе урана-235 и на обладающем аналогичными свойствами изотопе плутония-239 — трансуранового элемента плутония.

Принцип работы атомной бомбы заключается в очень быстром сближении нескольких порций ядерного горючего, общее количество которых после их объединения превосхо-

дит по массе и размерам критические значения. Энергетическая эффективность атомной бомбы примерно в миллион раз превышает эффективность обычной бомбы.

После окончания Второй мировой войны основные усилия ученых-атомщиков были направлены на освоение атомной энергии для мирных целей. В 1954 г. у нас в стране пущена первая в мире атомная электростанция, в 1957 г. спущен на воду атомный ледокол. В настоящее время атомная энергия применяется практически во всех областях народного хозяйства и науки и вносит все больший вклад в мировую энергетику. Построено и работает много ядерных реакторов разных типов (на тепловых, промежуточных и быстрых нейтронах) с различными замедлителями (графит, вода, тяжелая вода, бериллий и др.) и совсем без замедлителя (на быстрых нейтронах), с разным ядерным горючим (естественный уран, обогащенный уран, плутоний и др.). Они используются и для получения энергии (атомные электростанции, суда и др.), и для различных научных исследований. И хотя чернобыльская трагедия резко заглушила эйфорию от успехов атомной энергетики, ее развитие обещает в дальнейшем широкие возможности в электрификации, теплофикации и даже химизации. Проблемы надежности работы атомных электростанций и их безаварийности более всего связаны с решением вопросов защиты атомных реакторов от внешних экстремальных воздействий (например, в условиях пожара) и захоронения радиоактивных отходов. Но в ближайшей перспективе по мере развития ядерной энергетики и радиохимии хранилища изотопов, т.е. осколков ядерного деления, могут превратиться в очаги производства ценнейших элементов, в частности платиновых. Сегодня изотопы легких платиновых металлов, образующиеся в процессе деления ядер урана и плутония на атомных станциях, доставляют хлопоты: куда бы их подальше спрятать и изолировать. Но радиохимия, изучающая химические свойства и химические превращения радиоактивных веществ, уже в ближайшее время должна решить задачу выделения этих ценных металлов и очищения их от радиоактивных примесей.

И все-таки современные электростанции нельзя считать вершиной достижений атомной энергетики и энергетики вообще, хотя они сегодня вносят около 12% вклада в общий энергетический баланс. Их недостаток — не только в опасности, подобной чернобыльской катастрофе, а еще и в том,

что в качестве ядерного топлива используется изотоп урана-235, доля которого в природном уране составляет всего 0,7%. Поэтому развитие атомной энергетики на основе современного поколения АЭС определяется ресурсами урана, которые по энергетическому запасу сравнимы с запасами нефти.

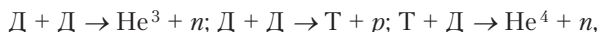
Кроме реакции деления тяжелых ядер, существует еще один способ освобождения внутриядерной энергии — реакции синтеза легких ядер. Величина энерговыделения в процессе синтеза настолько велика, что при большой концентрации взаимодействующих ядер ее может оказаться достаточно для возникновения цепной термоядерной реакции. В этом процессе быстрое тепловое движение ядер поддерживается за счет энергии реакции, а сама реакция — за счет теплового движения. Для достижения необходимой кинетической энергии температура реагирующего вещества должна быть очень высокой ( $10^7$ – $10^8$  К). При такой температуре вещество находится в состоянии горячей, полностью ионизированной плазмы, состоящей из атомных ядер и электронов. Совершенно новые возможности открываются перед человечеством с осуществлением термоядерной реакции синтеза легких элементов. Можно представить себе три способа осуществления этой реакции:

1. Медленная термоядерная реакция, самопроизвольно происходящая в недрах Солнца и других звезд.

2. Быстрая самоподдерживающаяся термоядерная реакция неуправляемого характера, происходящая при взрыве водородной бомбы.

3. Управляемая термоядерная реакция.

Неуправляемая термоядерная реакция — это водородная бомба, взрыв которой происходит в результате ядерного взаимодействия:



приводящего к синтезу изотопа гелия  $He^3$ , содержащего в ядре два протона и один нейтрон, и обычного гелия  $He^4$ , содержащего в ядре два протона и два нейтрона. Здесь  $n$  — это нейтрон, а  $p$  — протон,  $D$  — дейтерий и  $T$  — тритий. При обеих реакциях  $D + D$  и  $D + T$  выделяется огромное количество тепла: один грамм газа, «сгорая», образует столько энергии, сколько получается при сгорании примерно 12 т угля! Реакции протекают при температуре  $10^7$ – $10^8$  К. Поэтому удерживать столь высоко разогретую массу, состоя-



щую из ядер, протонов и нейтронов (она получила название плазмы), невозможно ни в каком котле, изготовленном из сколь угодно жаропрочного материала. Это обстоятельство оказалось главным препятствием на пути осуществления управляемой термоядерной реакции.

Но уже в 1950-х гг. отечественные физики первыми выдвинули и экспериментально обосновали принцип магнитной изоляции ядерной плазмы, которая позволяет уменьшить теплопередачу от плазмы к стенкам реактора. Впоследствии была сконструирована установка «токамак» — тороидальная камера магнитного удержания ядерной плазмы как ступень к решению задачи — управлению термоядерной реакцией.

Однако чем дальше углублялись исследования по решению этой задачи, тем больше появилось новых трудностей. И хотя ученые — физики нашей страны, США, Англии и других государств продвинулись в этом направлении довольно далеко, конечная цель, как они теперь полагают, может быть достигнута не ранее чем через 100 лет.

Но существуют и другие препятствия на пути термоядерной энергии, главным из которых является возможный перегрев поверхности Земли в результате выделения тепла термоядерными реакторами. Собственно, речь идет о разумных экологических ограничениях производства термоядерной энергии в пределах не более чем 5% от солнечной энергии, поглощаемой Землей (рис. 10.3). Но даже и в этих пределах производство термоядерной энергии повышает разогрев земной поверхности на  $3,7^{\circ}$ . Считают, что разогрев выше этой предельной температуры может привести к существенному изменению климата всей нашей планеты, даже к всемирному потопу за счет таяния льдов Антарктиды и Гренландии. Так что нужны меры по поиску экологически безупречных и практически неисчерпаемых источников энергии.

Самой рациональной из таких мер является использование солнечной энергии. Эта мера никогда не приведет к перегреву Земли и к загрязнению ее атмосферы, поверхности и океанов. Солнце каждую секунду посылает на Землю 4 трлн калорий тепла. Около половины его рассеивается и поглощается атмосферой и около 10% задерживается в капельно-жидких и пылевых облаках. И все же остающаяся доля доходящей до поверхности солнечной энергии оказывается грандиозной, в десятки раз превышающей

предельно допустимое производство термоядерной энергии.

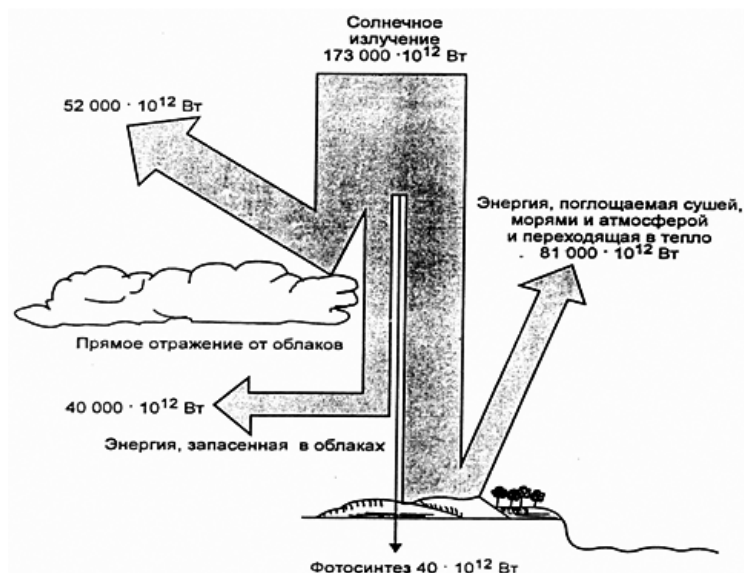


Рис. 10.3. Распределение солнечной энергии на Земле

Известные в наше время способы преобразования солнечной энергии в те виды, которые можно использовать в энергетике, условно делят на четыре типа: теплотехнические, физические, химические и биологические. Сегодня самыми распространенными являются теплотехнические способы. Но они находятся в зависимости от климатических условий, а их КПД при превращении тепловой энергии в электрическую и механическую не превышает 5%. Физические преобразователи солнечной энергии, в основе которых находятся полупроводниковые фотоэлементы, пока не нашли широкого применения. Они используются в космических кораблях. А построенные на базе кремневых фотоэлементов в качестве опытных наземные электростанции выдают энергию, которая примерно в 100 раз дороже электроэнергетики, получаемой на атомных станциях.

Биологическое преобразование солнечной энергии происходит в результате фотосинтеза, происходящего в растениях. Благодаря этому на Земле образовались ископаемые топлива. Хотя на фотосинтез расходуется менее 1% всей сол-

нечной энергии, падающей на Землю, урожай зеленой массы растений за год по своей калорийности примерно равен добываемым за год из недр Земли горючим ископаемым.

В настоящее время стала актуальной задача химического преобразования солнечной энергии, т.е. аккумуляирования и запасаения солнечной энергии методом фотосинтеза. В этом отношении представляет интерес получение на основе преобразования солнечной энергии водорода из воды. Разрабатываемые ныне искусственные молекулярные фотокаталитические системы все более приближаются к природным фотосинтезирующим объектам не только по принципу их действия, но и по самой организации систем. Поэтому, возможно, в недалеком будущем удастся воспроизвести в искусственных условиях способность фотосинтезирующего аппарата растений запасать солнечную энергию в виде энергии химического топлива с одновременным выделением кислорода и КПД, близким к 40–50%. Во всяком случае, широкомасштабное преобразование солнечной энергии в энергию химических топлив поставлено на очередь дня. Водород является самым высококалорийным и экологически чистым топливом. Он удобен и для стационарной, и для транспортной энергетики. Бесспорно, это — универсальное топливо энергетики будущего.

## 10.6. Законы сохранения в природе

Тайны мира, что я изложил в сокровенной тетради,  
от людей утаил я, своей безопасности ради.  
никому не могу рассказать, что скрываю в душе,  
слишком много невежд в этом злом человеческом  
стаде...

*Омар Хайям*

Открытие этих законов началось с установления М. В. Ломоносовым и А. Л. Лавуазье почти независимо друг от друга закона сохранения массы вещества. **Закон сохранения массы** в химических процессах формулируется следующим образом: сумма масс исходных веществ (соединений) равна сумме масс продуктов химической реакции. Количественным выражением закона сохранения массы вещества применительно к производственному химическому процессу является материальный баланс, в котором

подтверждается, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию (приход), равна массе полученных веществ (расход):

$$M_{\text{т}} + M_{\text{ж}} + M_{\text{г}} = M_{\text{т}}' + M_{\text{ж}}' + M_{\text{г}}',$$

где  $M_{\text{т}}$ ,  $M_{\text{ж}}$ ,  $M_{\text{г}}$  — соответственно массы твердых, жидких и газообразных материалов, поступивших на обработку (приход материалов);  $M_{\text{т}}'$ ,  $M_{\text{ж}}'$ ,  $M_{\text{г}}'$  — массы продуктов, получившихся в результате химической переработки (расход материалов).

Важным достижением на пути дальнейшего процесса интеграции знаний было открытие фундаментального закона природы — закона сохранения и превращения энергии. Открытие этого закона обычно связывают с именами Р. Майера, Д. Джоуля, Г. Гельмгольца. К открытию они пришли разными путями. Формулировка закона сохранения и превращения энергии согласно Гельмгольцу следующая: приращение кинетической энергии тела равно убыли его потенциальной энергии. Он выразил закон в математической форме и связал закон сохранения энергии с принципом невозможности создания вечного двигателя. Джоуль определил величину эквивалента перевода механической энергии в тепловую. Майер рассматривал различные виды энергии: кинетическую, потенциальную, их сумму — механическую энергию, а также тепловую, электрическую, химическую энергию. Он считал, что все эти виды энергии могут взаимопревращаться — при условии неизменности общего количества энергии. Например, количественным выражением закона сохранения энергии в химическом производстве является тепловой (энергетический) баланс. Применительно к тепловым процессам химической переработки закон сохранения энергии формулируется так: количество тепловой энергии, принесенной в зону взаимодействия веществ, равно количеству энергии, вынесенной веществами из этой зоны:

$$Q_{\text{ф}} + Q_{\text{э}} + Q_{\text{в}} = Q_{\text{ф}}' + Q_{\text{п}}',$$

где  $Q_{\text{ф}}$  — теплота, введенная в процесс с исходными веществами;  $Q_{\text{э}}$  — теплота экзотермических реакций;  $Q_{\text{в}}$  — теплота, введенная в процесс извне;  $Q_{\text{ф}}'$  — теплота, выведенная из процесса с продуктами реакции;  $Q_{\text{п}}'$  — потери теплоты, выделяющейся в окружающую среду. Переход энергии

из одной формы в другую означает, что энергия в данной форме исчезает, превращается в энергию в иной форме. Закон сохранения энергии утверждает, что при любых процессах, происходящих в изолированной системе, общая энергия системы не изменяется, т.е. переход энергии из одной формы в другую происходит с соблюдением количественной эквивалентности. Для количественной характеристики различных форм движения вводятся соответствующие им виды энергии: механическая, внутренняя (тепловая), электромагнитная, химическая, ядерная и т.д. Закон сохранения энергии — закон, управляющий всеми явлениями природы; исключений из него науке неизвестно.

В структуру физической теории понятие энергии вошло в середине XIX в. при рассмотрении закона сохранения и превращения энергии в механике. Мерой изменения энергии в ряде случаев может быть определена работа. Работа, совершаемая за счет уменьшения потенциальной энергии тела, практически полностью идет на увеличение кинетической энергии тела. Это послужило основанием формулирования закона сохранения и превращения энергии применительно к механическим процессам: полная энергия замкнутой консервативной системы тел равна сумме их потенциальной и кинетической энергии и остается величиной постоянной. Таким образом, всякое изменение потенциальной и кинетической энергии есть превращение потенциальной энергии в кинетическую, а кинетической в потенциальную. Необходимо отметить, что энергия сохраняется не только для изолированных (замкнутых) систем, но и для систем, находящихся во внешних полях, не изменяющихся во времени. Однозначное определение работы как меры изменения потенциальной энергии имеет место лишь для определенных типов полей, называемых потенциальными. Примерами таких полей могут служить гравитационное поле или электростатическое. Потенциальными считаются поля, работа сил которых не зависит от траектории движения тела в поле, а соответственно силы этих полей называют консервативными. В случае, если работа сил зависит от формы пути или силы зависят от скорости движения, механическая энергия системы не сохраняется. Например, силы трения, которые присутствуют во всех случаях, не являются консервативными. Следовательно, закон сохранения механической энергии имеет смысл лишь применительно к идеализированным ситуациям. Выяснение энергетических

процессов с наличием сил трения привело к открытию закона сохранения и превращения энергии в тепловых явлениях. Причем это происходило в двух направлениях: термодинамическом, изучающем тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества, и молекулярно-кинетическом. Оформившись к середине XIX в., оба эти направления, оба подхода к рассмотрению изменения состояния вещества с различных точек зрения дополняют друг друга, образуя единое целое. Работы Майера, Джоуля, Гельмгольца привели к установлению первого начала термодинамики, а Клаузиуса и Томсона — второго начала термодинамики. Клаузиус первым высказал мысль об эквивалентности работы и количества теплоты. Закон сохранения энергии в тепловых процессах утверждает, что величину внутренней энергии  $U$  можно увеличить двумя эквивалентными способами — произведя над телом механическую работу ( $A$ ) или сообщая ему количество теплоты ( $Q$ ):  $\Delta U = A + Q$ .

Следует подчеркнуть важное значение установления эквивалентности теплоты и работы. Именно понимание количества теплоты как меры изменения внутренней энергии способствовало установлению закона сохранения и превращения энергии.

Установлению закона сохранения и превращения энергии способствовало также открытие эффектов, отличных от механических и тепловых, а также превращение других форм движения в тепловую энергию. Майер рассматривает положение о сохранении и превращении энергии в природе применительно к живым организмам, утверждая, что при поглощении пищи в организме постоянно происходят химические процессы, результатом которых являются тепловые и механические эффекты.

Исследования электрических явлений давали серьезные основания для подкрепления вывода о взаимопревращении различных форм движения друг в друга. Джоуль устанавливает соотношение между величиной количества теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока через проводник, и величиной тока и сопротивления проводника.

Итак, на протяжении более четырех десятилетий формировался один из самых великих принципов современной науки, который привел к объединению самых различных явлений. Всеми явлениями природы управляет закон сохранения и превращения энергии: энергия в природе не возни-

кает из ничего и не исчезает; количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую.

Дальнейшее развитие основополагающих закономерностей природы получило в специальной теории относительности Эйнштейна: «...Если тело отдает энергию  $E$  в виде излучения, то его масса уменьшается на  $E/c^2$ ... Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии». Позднее он формулирует следующий важный вывод специальной теории относительности: «Масса и энергия эквивалентны друг другу»; появляется знаменитая формула Эйнштейна, связывающая энергию и массу:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

где  $m_0$  — масса покоя;  $E_0 = m_0 c^2$  — энергия покоя тела.

До создания специальной теории относительности законы сохранения энергии и массы рассматривались как два самостоятельных закона сохранения. Теперь же оба эти закона слились в один. По выражению Эйнштейна, масса должна рассматриваться как «сосредоточие колоссального количества энергии». Таким образом, можно сказать, что фундаментальным законом природы является закон сохранения массы и энергии. Специфической особенностью применения закона сохранения энергии в ядерной физике и физике элементарных частиц является необходимость учета изменения энергии покоя и, следовательно, массы взаимодействующих тел.

Часто, говоря о преобразовании энергии покоя в кинетическую, называют этот процесс «превращением массы в энергию». Можно ли так говорить? Верно это или нет? Строго говоря, неверно, так как в подобном процессе энергия и масса преобразуются не друг в друга, а каждая в свою другую форму: энергия покоя  $E_0$  в кинетическую энергию; масса покоя  $m_0$  в иную форму массы, которую условно называли «кинетической массой». В обоих преобразованиях сохраняется полное значение как энергии, так и массы. Но протекают эти преобразования так, что возрастанию кинетической энергии от первоначального значения до конечного значения соответствует эквивалентное убывание энергии покоя от первоначального значения до конечного значения. А так как масса и энергия связаны соотношением  $E = mc^2$ , то убывание энер-

гии покоя  $\Delta E_0$  проявляется как уменьшение массы покоя  $m_0$  на величину  $\Delta m_0 = \Delta E_0/c^2$ , которая называется *дефектом массы*. В результате создается впечатление о «превращении массы в кинетическую энергию».

Согласно закону сохранения энергии полная энергия  $E$  остается неизменной при любых процессах, однако этот закон не запрещает превращение энергии из одной формы в другую. В принципе возможны как процессы превращения энергии покоя  $E_0$  в кинетическую энергию, так и обратный процесс преобразования кинетической энергии в энергию покоя. В соответствии с соотношением  $E = mc^2$  первый процесс должен сопровождаться уменьшением массы («превращением массы в энергию»), а второй — увеличением массы («превращением кинетической энергии в массу»). Особенно заманчивым является процесс преобразования энергии покоя в кинетическую энергию («превращение массы в энергию»).

Мерой механического движения тела является **количество движения** или **импульс**, определяемый как произведение массы тела  $m$  на скорость  $v$ . Импульс  $P$  является векторной величиной, направленной так же, как скорость точки. В случае механической системы импульс ее определяется как геометрическая сумма импульсов всех ее точек или произведение массы всей системы ( $m$ ) на скорость ее центра масс ( $v_c$ ):

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n m_i \bar{v}_i = m \bar{v}_c.$$

Изменение импульса системы происходит под действием только внешних сил, т.е. сил, действующих на систему со стороны тел, не входящих в эту систему. Одним из важных законов природы является **закон сохранения импульса**, который утверждает, что импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени. Для замкнутой системы, которая не испытывает внешних воздействий или когда геометрическая сумма действующих на систему внешних сил равна нулю, импульс системы сохраняется постоянным. Отсюда следует также, что при любых процессах, происходящих в замкнутой системе, скорость ее центра инерции сохраняется неизменной. Для материальной точки закон сохранения импульса означает, что в отсутствие внешних сил она движется с постоянной скоростью по прямой линии.



Если система не замкнутая, но равнодействующая внешних сил равна нулю, то импульс системы остается постоянным так же, как если бы внешних сил не было совсем. Обычно приходится иметь дело с незамкнутыми системами, для которых равнодействующая внешних сил отлична от нуля и импульс системы не постоянный. Однако если проекция главного вектора внешних сил на какую-либо ось, неподвижную относительно инерциальной системы отсчета, тождественно равна нулю, то проекция на эту же ось вектора импульса системы не зависит от времени. Этот закон называют законом сохранения проекции импульса.

Основополагающим является также **закон сохранения момента импульса системы (тела)**. В классической механике моментом импульса частицы (моментом количества движения) называют векторное произведение

$$\vec{M} = \vec{r} \vec{P},$$

где  $\vec{r}$ ,  $\vec{P}$  — радиус-вектор и вектор импульса частицы соответственно.

Этот закон утверждает, что момент импульса замкнутой системы тел относительно любой неподвижной точки не изменяется с течением времени. Если момент внешних сил относительно неподвижной оси вращения тела тождественно равен нулю, то момент импульса тела относительно этой оси не изменяется в процессе движения. Данный закон может быть обобщен для любой незамкнутой системы тел: если результирующий момент всех внешних сил, приложенных к системе, относительно какой-либо неподвижной оси равен нулю, то момент импульса системы относительно той же оси не изменяется с течением времени. В частности, этот закон справедлив для замкнутой системы тел.

В электрических явлениях фундаментальным является **закон сохранения электрического заряда**. Для замкнутой системы частиц суммарный электрический заряд системы со временем не изменяется, т.е. остается постоянным.

Наиболее ярко проявление законов сохранения мы наблюдаем в мире элементарных частиц. Здесь действует правило: разрешено все, что не запрещают законы сохранения. Последние играют роль правил запрета, регулирующих взаимодействие частиц. Прежде всего отметим законы сохранения энергии, импульса и электрического заряда. Эти три закона, например, объясняют стабильность электрона.

Из сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса покоя продуктов распада должна быть меньше массы покоя распадающейся частицы. Значит, электрон мог бы распадаться только на нейтрино и фотоны. Но эти частицы электрически нейтральны. Вот и получается, что электрону просто некому передать свой электрический заряд, поэтому он стабилен. Существует много специфических параметров, сохранение которых регулирует взаимопревращение частиц, — барионный заряд, лептонный заряд, четность (пространственная, временная, зарядовая), странность, очарование и др. Некоторые из них не сохраняются в процессах, обусловленных слабым взаимодействием (четность, странность, очарование). Согласно, например, закону сохранения барионного заряда в любом процессе должна оставаться неизменной разность между числом барионов и антибарионов. Протон — барион с наименьшей массой; следовательно, среди продуктов его распада барионов быть не может. Этим объясняется стабильность протона — его распад приводил бы к некомпенсированному уничтожению бариона.

## 10.7. Концепции симметрии

Природа — единственная книга,  
каждая страница которой полна  
глубокого содержания.

*И. В. Гете*

Понятие симметрии знакомо каждому человеку с детства. Мы знаем, что шар, куб, квадрат, равнобедренный треугольник, круговой конус симметричны, а запятая, чернильная клякса, косоугольный треугольник несимметричны. **Симметричной фигурой** называется фигура, которая может совместиться сама с собой в результате преобразований. Отражения и вращения, приводящие фигуру в совмещение с самой собой, называются преобразованиями симметрии, или симметричными преобразованиями. Воображаемые плоскости, линии и точки, с помощью которых осуществляются эти отражения и вращения, называются элементами симметрии. Много различных элементов симметрии имеют кристаллы. Симметрия форм кристаллов отражает симметрию их физических свойств.

**Симметрия** предполагает неизменность объекта или свойств объекта по отношению к каким-нибудь преобразованиям, операциям, выполняемым над объектом. Слово это греческое и переводится как «соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей». Симметрию можно понимать в геометрическом смысле — как симметрию положений. Например, рассмотрение объектов по отношению к отражениям, поворотам, переносам. Симметрия имеет определенную структуру, состоящую из трех факторов: 1) объект или явление, симметрия которого рассматривается; 2) изменение или преобразование, по отношению к которому рассматривается симметрия; 3) инвариантность или неизменность, сохранение каких-либо свойств объекта, выражающие рассматриваемую симметрию.

Природа уникальна в своей первозданной красоте. Многообразию ее предметов, созданных в том числе и человеческим разумом, присуща определенная симметрия внешних форм. Например, снежинка обладает удивительной гексагональной симметрией, кристаллы имеют характерные симметричные формы, дождевая капля представляет собой симметричную сферу, человеческое тело также обладает зеркальной симметрией, а архитектурные сооружения вообще представляют собой воплощение идеальных симметричных форм. В таких случаях мы имеем дело с геометрическими симметриями, частным случаем которых являются зеркальные симметрии.

Считается, что роль геометрических принципов симметрии в физике изучена достаточно хорошо. Общеизвестно и то, что геометрические принципы симметрии задают структуру законам природы, раскрывают структуру пространства и особенности пространственно-временных связей в законах природы. Геометрические принципы также отражают не только общие свойства пространства и времени, но и пространственные свойства находящихся в нем тел. Фактически это является причиной того, что геометрические принципы симметрии стали универсальными принципами формообразования, основой предметно-пространственной реальности, концептуальной базой формирования физических теорий, выступая основой самостоительности любого объекта по отношению к самому себе и по отношению к другим объектам, как связь различных состояний объекта, как начало единения предметной реальности в целостное единство.

Представление о симметрии на уровне наблюдаемой реальности природы подводит нас к симметрии на уровне законов природы, отражающих сущностные характеристики явлений. На этом уровне физики открывают все новые и новые неожиданные симметрии. Но эти симметрии, таинственно «запрятанные» в математическом аппарате, совсем не очевидны. Классический пример такого рода, возникший на рубеже нашего столетия, относится к законам электромагнитного поля. Фарадей, как известно, установил, что электричество и магнетизм глубоко взаимосвязаны между собой и взаимопорождают друг друга. Действие этих сил было описано введением понятия поля — невидимого воздействия, порождаемого материей и способного влиять на электрические токи и магниты.

Опираясь на эти факты, Максвелл разработал теорию, в рамках которой электрическое и магнитное поля объединялись в единое электромагнитное поле, описывающееся единой системой уравнений. Ввиду того, что члены уравнений, относящиеся к электрическому и магнитному полям, входят в уравнения несимметрично, Максвелл ввел дополнительный член, чтобы придать уравнениям симметричный вид. Его можно было бы интерпретировать как эффект порождения магнетизма переменным электрическим полем, что было впоследствии экспериментально подтверждено. Введение дополнительного члена в уравнения Максвелла повлекло за собой чрезвычайно глубокие последствия, среди которых необходимо выделить: 1) возможность рассмотрения одной объединяющей их силы; 2) возможность обнаружения решений уравнений Максвелла, соответствующих различным синусоидальным функциям (симметричным), которые описывают волны. Эти волны и представляют собой электромагнитные волны, самостоятельно распространяющиеся в пустом пространстве. Из этих уравнений Максвелл вывел формулу, выражающую через электрические и магнитные величины скорость электромагнитных волн, которая оказалась равной скорости света (300 000 км/с). Отсюда неизбежно следовал вывод о том, что свет — это электромагнитная волна.

Оценить полностью все следствия, вытекающие из симметрии уравнений Максвелла, удалось лишь А. Эйнштейну, которого особенно интересовали симметрии, скрытые в математических уравнениях. Впоследствии выяснилось, что «дополнительный член», введенный Максвеллом в урав-

нения для восстановления равноправия электрического и магнитного полей, соответствует электромагнитному полю, обладающему богатой, но тонкой симметрией, которая может быть выявлена исключительно при тщательном математическом анализе.

Смысл и значение этой и подобных ей симметрий были в полной мере осознаны лишь после появления специальной теории относительности, в которой впервые в ясном виде были сформулированы постулаты о симметрии пространства: об эквивалентности направлений пространства и различных точек пространства.

Если физический смысл геометрических принципов симметрии не вызывает сомнений, то природа внутренних или динамических симметрий все еще остается загадочной и неопределенной. Понятие внутренней симметрии основывается на таком абстрактном понятии, как «внутреннее пространство». Введение в научный обиход этого понятия имело, скорее всего, конструктивный характер и диктовалось главным образом попытками объяснить специфику поведения микрочастиц.

После появления нового класса динамических принципов инвариантности возникло множество вопросов, связанных как с различием и сходством между двумя классами симметрии, так и с пониманием сущности внутренних симметрий. Некоторые из этих вопросов актуальны и в настоящее время.

По своей природе геометрические и динамические принципы инвариантности сильно различаются и даже могут быть противоположными. Однако между ними есть и определенное сходство. Оно выражается, во-первых, в том, что оба класса принципов симметрии одинаково обеспечивают связь между теорией и экспериментом; во-вторых, что равно устанавливает эквивалентность большого числа различных по характеру процессов в отношении их экспериментального проявления. Кроме того, оба типа принципов симметрии исключают многие формально мыслимые варианты поведения физических систем, фактически превращаясь в некоторые правила запрета.

Различие же между этими двумя типами принципов симметрии проявляется по многим аспектам. Наиболее наглядно оно (различие) проявляется при анализе отношений между явлениями, законами природы и принципами инвариантности. Оказалось, что эти отношения обра-

зуют в картине знаний об окружающем мире следующую иерархическую цепочку: от явлений к законам природы, от законов природы к принципам симметрии. Важным, в плане различия указанных принципов симметрии, является тот факт, что геометрические принципы симметрии формулируются только в терминах наблюдений, а динамические принципы симметрии — исключительно в терминах законов природы. Это обстоятельство приводит к тому, что геометрические принципы симметрии в своем арсенале имеют только такие преобразования, которые носят явно пассивный характер. Дело в том, что такие преобразования в принципе не затрагивают самих событий. Они их практически не изменяют. Изменяются лишь внешние пространственно-временные характеристики событий, изменяются способы описания в результате изменения самой точки зрения. В силу указанной специфики геометрические принципы симметрии носят всеобщий, универсальный характер, так как они справедливы как для всех законов природы, так и для всех типов физических взаимодействий.

Динамические же принципы симметрии формулируются только в терминах законов природы и относятся исключительно к определенным типам физических взаимодействий. Невозможность формулировок динамических принципов в терминах наблюдений приводит к тому, что каждое из известных фундаментальных физических взаимодействий имеет свою собственную симметрию. В силу этого динамические принципы симметрии не обладают свойством всеобщности и универсальности. По этой же причине динамические принципы симметрии устанавливают эквивалентность событий, которые различны для различных типов физических взаимодействий.

Геометрические и динамические принципы различаются и по их отношению к законам сохранения. Если геометрические принципы симметрии порождают определенные законы сохранения, то динамические принципы симметрии, не будучи связанными непосредственно с законами сохранения, ограничивают динамику возможных взаимодействий, как это совершается, например, с помощью принципа эквивалентности в теории гравитации.

При всем различии природы фундаментальных физических взаимодействий и связанных с ними групп внутренних

симметрий имеет место и нечто общее между этими взаимодействиями и, следовательно, группами динамических симметрий. Оно состоит в следующем: 1) достаточность соответствующей группы симметрии для нахождения выражения данного взаимодействия; 2) расширение группы внутренней симметрии при переходе от менее сильных к более сильным взаимодействиям. Чем сильнее взаимодействие, тем выше размерность группы соответствующей симметрии. При этом группы симметрии высшей размерности содержат в себе в качестве подгрупп группы симметрии низшей размерности; 3) локальный характер всех внутренних симметрий. Принцип локализации внутренних симметрий оказался очень плодотворным в квантовой теории поля. Данный принцип дал возможность ввести в теорию новый физический объект — калибровочное поле, взаимодействие с которым обеспечивает инвариантность теории относительно локальной группы симметрии. Из одного требования локальной калибровочной симметрии можно получать все уравнения, например, электромагнитного поля. Слабое и сильное взаимодействия также успешно описываются квантово-полевыми моделями калибровочного типа. Принцип локально калибровочной инвариантности фактически оказался тем глубоким физическим принципом, с помощью которого можно вводить взаимодействия чисто аксиоматически, определяя их форму в соответствии со свойствами симметрии.

В калибровочной симметрии инвариантный смысл придается не длине линейного элемента или вектора, а только отношению длин двух линейных элементов или векторов, исходящих из одной точки. Параллельный перенос должен быть таким, чтобы это отношение сохранялось.

Впервые калибровочные преобразования были найдены при анализе свойств уравнений квантовой механики и уравнений Максвелла. Лишь впоследствии (в создании квантовой электродинамики) выяснилась важность роли калибровочной симметрии, на базе которой появилась возможность вычислять эффекты электромагнитного взаимодействия частиц с любой степенью точности. О теориях с таким свойством физики говорят как о перенормируемых. Только после доказательства перенормируемости квантовой электродинамики стало возможным рассматривать ее как законченную теорию.

## 10.8. Законы сохранения и принципы симметрии

Мы рады той таинственности,  
которая находится за пределами  
нашей досягаемости.

*Харлоу Шепли*

Среди всех физических законов своей всеобщностью, высшей степенью фундаментальности выделяются законы сохранения энергии импульса, момента импульса и ряда других величин. Своим происхождением эти законы сохранения обязаны свойствам симметрии природы. Немецкий математик Эмми Нетер доказала в 1918 г. теорему, суть которой заключается в утверждении, что различным симметриям физических законов соответствуют определенные законы сохранения. Свойства симметрии природы выражаются в неизменности вида физических законов, т.е. в их инвариантности, при некоторых преобразованиях. Тем самым была математически доказана связь между законами сохранения и симметрией законов природы. По выражению Р. Фейнмана, «среди наиболее мудрейших и удивительных вещей в физике эта связь — одна из самых интересных и красивых».

Важное значение имеет симметрия физических законов, которые в основном связаны со свойствами пространства и времени. Остановимся более подробно на физическом содержании свойств законов по отношению к преобразованиям фундаментальной симметрии.

1. Симметрия по отношению к сдвигу начала отсчета времени, или свойство однородности времени, проявляется в физическом эквиваленте разных его моментов. Разные моменты времени эквивалентны в том смысле, что любой физический процесс протекает одинаковым образом независимо от того, когда он начался. При этом условия, существенные для процесса, в будущем должны быть такими же, как и в прошлом. Свойство однородности времени позволяет сравнить результаты опытов, проведенных в разное время.

Однородность времени нужно понимать как физическую неразличимость всех моментов времени свободных объектов. Другими словами, если объекты не взаимодействуют с окружением, то для них любой момент времени может быть принят за начальный. Мы считаем, что изученные за-



кономерности в поведении атомов были такими же и многие миллионы лет тому назад. Отсутствие однородности времени вело бы к тому, что люди не могли бы прогрессировать в познании. Открытый вчера закон плавления тел Архимеда сегодня был бы несправедлив, и нужно было бы вновь вести исследование; завтра он, в свою очередь, будет снова несправедлив.

Однородность времени, т.е. симметрия по отношению к преобразованию  $t = t_0 + t'$ , приводит к закону сохранения энергии. Этот закон выполняется для систем, находящихся в неизменных во времени внешних условиях. Такие условия создаются только потенциальными внешними полями и называются стационарными. Действительно, выбор начала отсчета времени несуществен, если только неизменны во времени внешние условия, в которых находится система. Энергия, таким образом, может быть определена как физическая величина, сохранение которой обусловлено указанной симметрией.

2. Симметрия по отношению к сдвигу начала координат, или свойство однородности пространства, означает, что все точки физического пространства эквивалентны. Эта эквивалентность выражается в том, что явление, произошедшее в одной области пространства, повторится без изменений, если будет вызвано в другом месте. Например, результаты одинаковых экспериментов, поставленных в разных лабораториях. При этом необходимо перенести в новое место всю совокупность факторов, существенно обуславливающих явление.

Однородность пространства означает, что любая его точка физически равноценна, т.е. перенос любого объекта в пространстве никак не влияет на процессы, происходящие с этим объектом. Так, мы совершенно уверены, что свойства атомов у нас на Земле, в условиях Луны, других планет и на Солнце одни и те же. Если бы эти кажущиеся столь очевидными свойства однородности пространства и времени отсутствовали, то было бы почти бессмысленно заниматься наукой. В самом деле, представьте себе, к чему вело бы отсутствие однородности пространства — законы физики в Москве были бы одни, в Махачкале — другие.

Однородность пространства, т.е. симметрия по отношению к преобразованию сдвига  $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$ , приводит к закону сохранения импульса. Закон сохранения импульса

соблюдается для изолированных систем. Импульс, или количество движения, таким образом, является физической величиной, сохранение которой связано с однородностью пространства.

3. Симметрия по отношению к повороту координатных осей, или свойство изотропности пространства, есть физическая эквивалентность направлений в пространстве. Она выражается в том, что в повернутой установке, аппаратуре, лаборатории и т.д. все процессы протекают точно так же, как и до поворота. При этом повороте должно быть подвергнуто все, определяющее течение процесса.

Изотропность пространства, т.е. симметрия по отношению к поворотам, приводит к закону сохранения момента импульса. Этот закон также соблюдается для изолированных систем. Момент импульса частицы или системы сохраняется также центрально-симметричным силовым внешним поле. Момент импульса является величиной, сохранение которой связано с изотропностью пространства.

4. Симметрия по отношению к переходу от покоя к состоянию равномерного и прямолинейного движения, или свойство галилеевской (нерелятивистской) инвариантности, заключается в физической эквивалентности покоя и равномерного прямолинейного движения. В любой системе все процессы происходят независимо от того, покоится система или движется равномерно и прямолинейно, если только переход от одного состояния к другому осуществляется со всем существенным окружением.

Вследствие однородности пространства и времени движение свободного тела (тело, настолько удаленное от всех окружающих тел, что можно пренебречь его взаимодействием с ними) будет равномерным, т.е. за равные промежутки времени тело должно проходить равные расстояния; оно будет к тому же и прямолинейным, ибо пространство «плоское» — Эвклидово. Такое движение свободных тел называют движением по инерции. Движение тел по инерции есть проявление своеобразной симметрии пространства и времени, их однородности.

Симметрия относительно перехода к движущейся системе отсчета, т.е. по отношению к преобразованиям Галилея, в нерелятивистском случае приводит к закону сохранения инерции. Он выполняется только для изолированных систем. Закон сохранения импульса недостаточен для обоснования закона сохранения центра инерции. Необходимо

знать связь между импульсом и скоростью. Эта связь устанавливается с использованием фундаментальной симметрии относительно переходов от состояния покоя к равномерному прямолинейному движению.

Выполнение всех этих законов сохранения в изолированной системе означает эквивалентность всех инерциальных систем, провозглашаемую принципом относительности.

Трехмерность пространства предопределяет векторную природу импульса и момента импульса; закон сохранения этих величин — векторные законы. Одномерность времени предопределяет скалярную природу энергии и соответствующего закона сохранения.

Тот факт, что закон сохранения энергии вытекает из однородности времени, означает, что течение времени само по себе не может вызвать изменение физических состояний системы. Связь закона сохранения импульса со свойством однородности пространства означает, что перемещения системы недостаточно для изменения ее состояния. Последнее может произойти только в результате взаимодействия данной системы с другими системами. Связь закона сохранения момента импульса со свойством изотропности пространства означает, что поворот системы в пространстве не изменяет ее свойств.

В классической механике законы сохранения выводятся из законов движения. Так, закон сохранения импульса следует из второго и третьего законов Ньютона. Однако законы сохранения могут быть получены не на основе законов движения, а непосредственно из принципов симметрии. Область применимости законов сохранения шире, нежели область применимости тех или иных законов движения. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса применяются не только в классической механике, но и в квантовой; в то время как законы динамики Ньютона в квантовой механике не работают. Для тех, кто выводит законы сохранения из принципов инвариантности, ясно, что область применимости этих законов выходит за рамки любых частных теорий (гравитации, электромагнетизма и т.д.), практически обособленных друг от друга в современной физике. Очевидно, что область применимости законов сохранения должна быть столь же широка, как и область применимости соответствующих принципов инвариантности. Это дает основание считать законы сохранения универсальными законами.

5. Симметрия относительно зеркального отражения означает, что физические законы не меняются при замене левого на правое, а правого на левое. С симметрией законов природы относительно отражения или частиц и античастиц связаны определенные законы сохранения. С первой симметрией связано сохранение физической величины, называемой пространственной четностью, а со второй — сохранение величины, называемой зарядовой четностью. Оба этих закона сохранения не вполне универсальны, поскольку соответствующие им симметрии нарушаются в слабых взаимодействиях.

Законы сохранения занимают в естествознании особое место. Существует следующая точка зрения на эти законы: они представляют собой наиболее глубокие, фундаментальные законы природы, к которым, возможно, сведутся в будущем все закономерности естествознания. В нашем знании о мире есть три последовательные ступени. На нижней ступени находятся *явления*, на следующей — *законы природы*, на третьей — *принципы симметрии*. Законы природы позволяют предсказать явления, принципы симметрии — предсказать законы природы. Прогресс в научном познании мира основывается в конечном счете на познании принципов симметрии. Но при этом необходимо иметь в виду не просто симметрию, а симметрию в диалектической взаимосвязи с асимметрией.

## Выводы

1. *Детерминизм* — это учение о всеобщей закономерной связи явлений и процессов в окружающем мире. Причинность является одной из форм проявления детерминизма. Исторически в науке сложились два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономерностей — динамические и статистические (вероятностные).

2. *Современную концепцию детерминизма* можно сформулировать следующим образом: динамические законы представляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего нас мира; статистические законы более совершенно отображают объективные связи в природе: они являются следующим, более высоким этапом познания.

3. Наиболее ярко динамический и статистический детерминизм проявляется при рассмотрении тепловых процессов. Динамический подход характерен для термодинамики. Молекулярно-кинетическая теория использует статистический метод, интересуясь не движением отдельных моле-

кул, а только средними величинами, которые характеризуют движение огромной совокупности частиц. Поэтому при изучении тепловых явлений в науке применяют два направления: статистические законы и термодинамические законы, изучающие тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества.

4. Если к системе подводится тепло и над ней производится работа, то энергия системы возрастает до величины, равной сумме этих величин. Невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при постоянной температуре. Тепло не может перетечь самопроизвольно от холодного тела к горячему.

5. *Энтропия* есть мера неупорядоченности системы. Энтропия замкнутой системы, т.е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, постоянно возрастает.

6. Основываясь на связи энтропии с вероятностью, Больцман сделал вывод, что природа стремится перейти из состояния менее вероятного в состояние более вероятное. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии, максимальна и постоянна.

7. *Второе начало термодинамики* устанавливает в природе наличие фундаментальных асимметрий, т.е. однонаправленности всех происходящих самопроизвольных процессов. Об этой асимметрии, выделенной Клаузиусом и Кельвином, говорят все окружающие нас явления. Хотя количество энергии в замкнутых системах сохраняется, но распределение энергии меняется необратимым способом. Распространение принципа возрастания энтропии на всю Вселенную привело Клаузиуса и Кельвина к гипотезе «тепловой смерти Вселенной».

8. Большинство систем являются открытыми, т.е. обменивающимися энергией или веществом с окружающей средой, поэтому понятия термодинамики расширялись для открытых систем. Энтропия в открытых системах может возникать и переноситься.

9. В стационарных неравновесных состояниях производит минимальная величина энтропии, что отражает внутреннюю инерцию и устойчивость систем, поэтому, если какие-то внешние условия не позволяют системе перейти в устойчивое равновесие, она перейдет в стационарное с минимальным производством энтропии — теорема Пригожина.

10. *Мерой различных форм движения материи является энергия.* Она бывает в различных видах: механическая, тепловая внутренняя, химическая, электрическая, магнитная, солнечная, атомная, ядерная, термоядерная и др.

11. *Фундаментальными законами природы* являются законы сохранения. Существуют законы сохранения различных величин: массы, энергии, количества движения, момента количества движения, заряда и др.

12. *В природе существуют принципы симметрии объектов и физических законов.* Различным симметриям физических законов в природе соответствуют определенные законы сохранения. Закон сохранения энергии есть следствие однородности времени. Закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства. Закон сохранения момента импульса есть следствие изотропности пространства.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Много лет размышлял я над жизнью земной.  
Непонятного нет для меня под луной.  
Мне известно, что мне ничего не известно!  
Вот последняя правда, открытая мной.

О. Хайям

### План семинара

1. Классический и вероятностный детерминизм. Динамические и статистические (вероятностные) законы.
2. Формы проявления детерминизма в тепловых процессах.
3. Термодинамика и принцип возрастания энтропии. Проблема тепловой смерти Вселенной.
4. Энергия и ее виды. Законы сохранения.
5. Виды симметрии. Симметрия и законы сохранения.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Внутренняя энергия** — тепло, содержащееся в теле, т.е. сумма всех энергий движения структур тела.

**Детерминизм** — учение о всеобщей закономерной связи явлений и процессов в окружающем мире, причинной обусловленности всех явлений, т.е. утверждает объективный характер причинности.

**Диссипация** (*лат.* dissipatio — рассеивание) **энергии** — переход энергии упорядоченного движения в энергию хаотического движения (теплоту).

**Диссипативные структуры** — новые структуры, требующие для своего становления большого количества энергии.

**Макросостояние** — состояние тела или системы, заданное с помощью макропараметров (параметров, измеряемых макробиорами, — давление, температура, объем и другие макроскопические величины, характеризующие систему в целом).

**Индетерминизм** — методологическая позиция, в которой отрицается как объективность причинных связей, так и ценность причинных объяснений в науке.

**Микросостояние** — состояние тела или системы, охарактеризованное заданием состояний всех образующих тело молекул.

**Термодинамическая вероятность** макросостояния — число возможных различных микросостояний, соответствующих данному макросостоянию.

**Теплота** — мера изменения внутренней энергии тела.

**Термодинамика** (*греч.* термос — теплота и динамика — сила) — раздел физики, изучающий закономерности превращения энергии в различных явлениях.

**Тепловая смерть Вселенной** — гипотеза, выдвинутая Клаузиусом и Кельвином, об исчезновении в будущем температурных различий и превращении всей мировой энергии в теплоту, равномерно распределенную во Вселенной.

**Необратимость тепла** состоит в том, что тепло не может перетечь самопроизвольно от холодного тела к горячему.

**Флуктуация** — случайные отклонения системы от некоторого среднего положения.

**Энтропия** (*греч.* — поворот, превращение) — мера беспорядка в системе, которая является функцией состояния системы. Она характеризует обесценивание энергии в изолированной системе из-за превращения всех видов энергии в тепло, равномерно распределенное между элементами изолированной системы.

### Задачи и упражнения

1. За цикл двигатель получает от нагревателя 0,5 ккал КПД двигателя 0,2. Какую работу выполняет двигатель за один цикл?

*Решение.* Из определения КПД цикла  $\eta = \frac{A}{Q_1}$  следует

$$A = \eta Q_1 = 0,2 \cdot 500 \text{ кал} = 100 \text{ кал} = 420 \text{ Дж}.$$

2. Двигатель работает как машина Карно и за цикл получает от нагревателя 700 кал. Температура нагревателя 600 К, температура охладителя 300 К. Найти совершающую за цикл работу и количество теплоты, отдаваемое при этом охладителю.

*Решение.* КПД машины Карно

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Отсюда совершаемая за цикл работа равна

$$A = Q_1 \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) = 700 \cdot \frac{300}{600} \text{ кал} = 350 \text{ кал}.$$

Количество теплоты, отдаваемое охладителю, равно

$$Q_2 = Q_1 - A = 700 \text{ кал} - 350 \text{ кал} = 350 \text{ кал}.$$

### Задачи для самостоятельного решения

1. Тепловая машина работает в интервале температур 500 и 20 °С. Каков теоретически максимальный КПД этой машины?

2. Тепловая машина работает по циклу Карно и за счет каждой килокалории, полученной от нагревателя, совершает 1,7 кДж работы. Температура охладителя 20 °С. Чему равна температура нагревателя?

### Тестовые задания

1. Энтропия каких систем возрастает?

- а) открытых;
- б) замкнутых;
- в) сложных;
- г) простых;
- д) систем с обратной связью.

2. Энтропия в равновесном состоянии:

- а) постоянна и максимальна;
- б) минимальна;
- в) уменьшается;
- г) возрастает;
- д) равна нулю.



3. Энтропия характеризует:
  - а) беспорядок в системе;
  - б) порядок в системе;
  - в) энергию системы;
  - г) изменения системы;
  - д) усложнение системы.
4. Гипотезу тепловой смерти Вселенной сформулировал:
  - а) У. Томпсон;
  - б) Л. Больцман;
  - в) Р. Клаузиус;
  - г) Д. Максвелл;
  - д) М. Планк.
5. Связь энтропии и вероятности состояния системы в виде  $S = k \ln W$  написал:
  - а) Л. Больцман;
  - б) М. Планк;
  - в) Д. Максвелл;
  - г) Р. Клаузиус;
  - д) Р. Майер.
6. Какой из законов термодинамики выражает закон сохранения энергии?
  - а) первый;
  - б) третий;
  - в) второй;
  - г) ни один из них;
  - д) все они выражают.
7. Какой из законов термодинамики выражает направление протекания тепловых процессов?
  - а) первый;
  - б) третий;
  - в) второй;
  - г) ни один не выражает;
  - д) все выражают.
8. Энтропия изолированной системы:
  - а) остается постоянной;
  - б) возрастает;
  - в) уменьшается;
  - г) равно нулю;
  - д) максимальна.

9. Какое из следующих величин не является функцией состояния системы?

- а) количество теплоты;
- б) внутренняя энергия;
- в) давление;
- г) температура;
- д) энтропия.

10. Газу передано количество теплоты 500 Дж и внешние силы совершили над ним работу 300 Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?

- а) 500 Дж; б) 300 Дж; в) 200 Дж; г) 800 Дж; д) 0 Дж.

11. Оцените максимальное значение КПД, которое может иметь тепловая машина с температурой нагревателя  $227^{\circ}\text{C}$  и температурой холодильника  $27^{\circ}\text{C}$ :

- а) 100%; б) 88%; в) 60%; г) 12%; д) 40%.

12. Газ получил от нагревателя 70 кДж теплоты. Каков КПД двигателя, если 35 кДж теплоты отдано холодильнику?

- а) 60%; б) 30%; в) 35%; г) 50%; д) 40%.

13. КПД идеального теплового двигателя 40%. Газ получил от нагревателя 5 кДж теплоты. Какое количество теплоты отдано холодильнику?

- а) 3 кДж; б) 2 кДж; в) 4 кДж; г) 1 кДж; д) 3,5 кДж.

14. Какие физические параметры у двух тел обязательно должны быть разными, чтобы эти тела не находились между собой в равновесии?

- а) температура;
- б) температура, давление и средняя скорость молекул;
- в) давление;
- г) температура и средняя скорость молекул;
- д) средняя скорость молекул.

15. Каким способом можно изменить внутреннюю энергию тела?

- а) только совершением работы;
- б) только теплопередачей;
- в) совершением работы и теплопередачей;
- г) внутреннюю энергию тела изменить нельзя;
- д) среди ответов а) — г) нет правильного.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Чем отличаются универсальные законы от статистических?

2. Почему лапласовский детерминизм оказался несостоятельным?
3. Почему причинность не совпадает с детерминизмом в целом?
4. Как можно было бы определить современный детерминизм?
5. Какие процессы называются обратимыми?
6. Что выражает первый закон термодинамики?
7. Дайте простую формулировку второго закона термодинамики.
8. Как можно сформулировать этот же закон с помощью понятия энтропии?
9. Как происходит эволюция в закрытых системах?
10. Кто впервые выдвинул идею «тепловой смерти» Вселенной и в чем ее несостоятельность по современным представлениям?
11. Как происходит самоорганизация в открытых системах?
12. Каковы основные особенности состояния теплового равновесия?
13. Что характеризует энтропия и как она меняется со временем для изолированных и неизолированных физических систем?
14. Какое значение имеют в современной науке принципы лапласовского детерминизма?
15. Какие интерпретации можно дать понятию вероятность?
16. Каковы причины перехода от классического к неклассическому описанию природы? В чем его сущность?
17. В чем смысл теоремы Э. Нетер?
18. Какие виды энергии вам известны?
19. Чем обуславливается важность развития энергетики?
20. Дайте краткую характеристику традиционным источникам энергии.
21. Каковы перспективы развития атомной энергетики?
22. Какими факторами обуславливается относительно медленное развитие гелиоэнергетики?
23. Каковы перспективы широкого использования источников энергии ветра, мирового океана и геотермальных источников?

### Тематика рефератов

1. Проблема детерминизма и индетерминизма в современном естествознании.

2. Роль вероятностных методов в классической физике и квантовой механике.
3. Общенаучное значение понятия энтропии.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. Концепции современного естествознания / под рук. С. А. Самыгина. — Ростов н/Д, 1997. — 430 с.
3. *Данин, Д. С.* Вероятностный мир. — М., 1981.
4. *Эрден-Груа, Т.* Основы строения материи. — М., 1976.

## Глава 11

# ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

### 11.1. Недостатки классической теории

Лучший друг истины — время,  
худший враг ее — предрассудок.

*К. Колтон*

В истории познания окружающего нас мира четко прослеживается общее направление — постепенное признание неисчерпаемости природы, ее бесконечности во всех отношениях. Вселенная бесконечна в пространстве и во времени, и если отбросить идеи И. Ньютона о «первом толчке», то такого рода мировоззрение можно считать вполне материалистическим. Ньютон утверждал, что пространство естьместилище всех небесных тел, с движением и массой которых оно никак не связано, — Вселенная всегда одна и та же, т.е. стационарна, хотя в ней постоянно происходят гибель и рождение миров.

Казалось бы, небо ньютоновской космологии обещало быть безоблачным. Однако очень скоро пришлось убедиться в обратном. В XIX в. обнаружили три противоречия, которые были сформулированы в форме трех парадоксов, названных космологическими. Они, казалось, подрывали представление о бесконечности Вселенной.

**Фотометрический парадокс.** Если Вселенная бесконечна и звезды в ней распределены равномерно, то по любому направлению мы должны видеть какую-нибудь звезду. В этом случае фон неба был бы ослепительно ярким, как Солнце.

**Гравитационный парадокс.** Если Вселенная бесконечна и звезды равномерно занимают ее пространство, то сила тяготения в каждой его точке должна быть бесконечно велика,

а стало быть, бесконечно велики были бы и относительные ускорения космических тел, чего, как известно, нет.

**Термодинамический парадокс.** По второму закону термодинамики все физические процессы во Вселенной в конечном счете сводятся к выделению теплоты, которая необратимо рассеивается в мировом пространстве. Рано или поздно все тела остынут до температуры абсолютного нуля, движение прекратится и наступит навсегда «тепловая смерть». Вселенная имела начало, и ее ждет неизбежный конец.

Первая четверть XX в. прошла в томительном ожидании развязки. Никто, разумеется, не хотел отрицать бесконечность Вселенной, но, с другой стороны, никому не удавалось устранить космологические парадоксы стационарной Вселенной. Лишь гений Альберта Эйнштейна внес новую струю в космологические споры.

Ньютоновская классическая физика, как уже говорилось, рассматривала пространство какместилище тел. Никакого взаимодействия между телами и пространством по Ньютону и быть не могло.

## 11.2. «Большой Взрыв» и расширяющаяся Вселенная

Ньютоновская Вселенная пала замертво,  
а на ее месте оказалась Вселенная  
Эйнштейна. Эйнштейн не спорил  
с научными фактами, он поднял руку  
на аксиомы науки, а наука не устояла перед  
его напором.

*Б. Шоу*

В 1916 г. А. Эйнштейн опубликовал основы общей теории относительности. Одна из главных ее идей состоит в том, что материальные тела, в особенности большой массы, заметно искривляют пространство. Из-за этого, например, луч света, проходящий вблизи Солнца, изменяет первоначальное направление примерно на 2" от прямолинейного.

Представим себе теперь, что во всей наблюдаемой нами части Вселенной материя равномерно «размазана» в пространстве и в любой его точке действуют одни и те же законы. При некоторой средней плотности космическо-

го вещества выделенная ограниченная часть Вселенной не только искривит пространство, но даже замкнет его «на себя». Вселенная (точнее, выделенная ее часть) превратится в замкнутый мир, напоминающий обычную сферу. Но только это будет четырехмерная сфера, или гиперсфера, представить себе которую мы, трехмерные существа, не в состоянии. Однако, мысля по аналогии, можно легко разобраться в некоторых свойствах гиперсферы. Она, как и обычная сфера, имеет конечный объем, заключающий в себе конечную массу вещества. Если в мировом пространстве лететь все время в одном направлении, то через некоторое число миллиардов лет можно попасть в исходную точку.

Идею о возможности замкнутости Вселенной впервые высказал А. Эйнштейн. В 1922 г. советский математик А.А. Фридман доказал, что «замкнутая Вселенная» Эйнштейна никак не может быть статичной. В любом случае ее пространство или расширяется, или сжимается со всем своим содержимым.

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл открыл замечательную закономерность: линии в спектрах подавляющего большинства галактик смещены к красному концу, причем смещение тел тем больше, чем дальше от нас находится галактика. Это интересное явление называется красным смещением. Объяснив красное смещение эффектом Доплера, т.е. изменением длины волны света в связи с движением источника, ученые пришли к выводу о том, что расстояние между нашей и другими галактиками непрерывно увеличивается. Конечно, галактики не разлетаются во все стороны от нашей Галактики, которая не занимает никакого особого положения в Метагалактике, а происходит взаимное удаление всех галактик. Это означает, что наблюдатель, находящийся в любой галактике, мог бы, подобно нам, обнаружить красное смещение, ему казалось бы, что от него удаляются все галактики. Таким образом, Метагалактика нестационарна.

Открытие расширения Метагалактики свидетельствует о том, что Метагалактика в прошлом была не такой, как сейчас, и иной станет в будущем, т.е. Метагалактика эволюционирует.

По красному смещению определены скорости удаления галактик. У многих галактик они очень велики, соизмеримы со скоростью света. Самыми большими скоростями,

иногда превышающими 250 тыс. км/с, обладают некоторые квазары, считающиеся самыми удаленными от нас объектами Метагалактики.

Закон, согласно которому красное смещение (а значит, и скорость удаления галактик!) возрастает пропорционально расстоянию от галактик (закон Хаббла), можно записать в виде:  $V = HR$ , где  $V$  — лучевая скорость галактики;  $R$  — расстояние до нее;  $H$  — постоянная Хаббла. По современным оценкам, значение  $H$  заключено в пределах:

$$50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк} < H < 100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}.$$

Следовательно, наблюдаемый темп расширения Метагалактики таков, что галактики, разделенные расстоянием в 1 Мпк ( $3 \cdot 10^{19}$  км), удаляются друг от друга со скоростью от 50 до 100 км/с. Если скорость удаления галактики известна, то таким образом можно вычислить расстояние до далеких галактик.

Итак, мы живем в расширяющейся Метагалактике. Это явление имеет свои особенности. Расширение Метагалактики проявляется только на уровне скоплений и сверхскоплений галактик, т.е. систем, элементами которых являются галактики. Другая особенность расширения Метагалактики заключается в том, что не существует центра, от которого разбегаются галактики.

Расширение Метагалактики — самое грандиозное из известных в настоящее время явлений природы. Правильное его истолкование имеет исключительно большое мировоззренческое значение. Не случайно в объяснении причины этого явления резко проявилось коренное отличие философских взглядов ученых. Некоторые из них, отождествляя Метагалактику со всей Вселенной, пытаются доказать, что расширение Метагалактики подтверждает религиозное о сверхъестественном, божественном происхождении Вселенной. Однако во Вселенной известны естественные процессы, которые в прошлом могли вызвать наблюдаемое расширение. По всей вероятности, это взрывы. Их масштабы поражают нас уже при изучении отдельных видов галактик. Можно представить, что расширение Метагалактики также началось с явления, напоминающего колоссальный взрыв вещества, обладавшего огромной температурой и плотностью.

Так как Вселенная расширяется, естественно думать, что раньше она была меньше и когда-то все пространство



было сжато в сверхплотную материальную точку. Это был момент так называемой сингулярности, который уравнениями современной физики не может быть описан. По неизвестным причинам произошел процесс, подобный взрыву, и с тех пор Вселенная начала «расширяться». Процессы, происходящие при этом, объясняются теорией «горячей» Вселенной (табл. 11.1).

Таблица 11.1

**Условия после начала расширения Вселенной**

Время от начала $t$ , с	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура $T$ , К
$\sim 0$	$\sim 10^{96}$	$\sim 10^{32}$
$10^{-6}$	$10^{21}$	$10^{13}$
$10^{-4}$	$10^{17}$	$10^{12}$
1	$10^9$	$10^{10}$
$10^6$	$10^{-18}$	$10^3$
...	...	...

В 1965 г. американские ученые А. Пензиас и Р. Вилсон нашли экспериментальное доказательство пребывания Вселенной в сверхплотном и горячем состоянии, т.е. реликтовое излучение (табл. 11.2). Оказалось, что космическое пространство заполнено электромагнитными волнами, являющимися посланцами той древней эпохи развития Вселенной, когда еще не было никаких звезд, галактик, туманностей. Реликтовое излучение пронизывает все пространство, все галактики, оно участвует в расширении Метагалактики. Реликтовое электромагнитное излучение находится в радиодиапазоне с длинами волн от 0,06 см до 60 см. Распределение энергии похоже на спектр абсолютно черного тела с температурой 2,7 К. Плотность энергии реликтового излучения равна  $4 \cdot 10^{-13}$  эрг/см<sup>3</sup>, максимум излучения приходится на 1,1 мм. При этом само излучение имеет характер некоторого фона, ибо заполняет все пространство и совершенно изотропно. Оно является свидетелем начального состояния Вселенной — это свет, оторванный от звезд. Очень важно, что, хотя это открытие было сделано случайно при изучении космических радиопомех, существование реликтового излучения было предсказано теоретиками. Одним из первых предсказал это излучение Дж. Гамов, разрабатывая теорию происхождения

химических элементов, возникших в первые минуты после «Большого Взрыва». Предсказание существования реликтового излучения и обнаружение его в космическом пространстве — еще один убедительный пример познаваемости мира и его закономерностей.

Таблица 11.2

**Параметры реликтового излучения, обнаруженного  
в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном**

1	Диапазон длин волн	$\lambda = (0,06-60)$ см
2	Соответствует спектру абсолютно черного тела	$T = 2,7$ К
3	Плотность энергии	$\varepsilon = 4 \cdot 10^{-13}$ эрг/см <sup>3</sup>
4	Максимум излучения	$\lambda_{\text{max}} = 1,1$ мм

Во всех развитых динамических космологических моделях утверждается о расширении Вселенной из некоторого сверхплотного и сверхгорячего состояния, называемого сингулярным. Американский астрофизик Д. Гамов пришел к концепции «Большого Взрыва» и горячей Вселенной на ранних этапах ее эволюции (табл. 11.3).

Анализ проблем начальной стадии эволюции Вселенной оказался возможным, опираясь на новые представления о природе вакуума. Космологическое решение, полученное де Ситтером для вакуума ( $r \sim e^{Ht}$ ), показало, что экспоненциальное расширение неустойчиво: оно не может продолжаться неограниченно долго. Через сравнительно малый промежуток времени экспоненциальное расширение прекращается, в вакууме происходит фазовый переход, в процессе которого энергия вакуума переходит в обычное вещество и кинетическую энергию расширения Вселенной. «Большой Взрыв» был 15—20 млрд лет назад.

Согласно стандартной модели горячей Вселенной сверхплотная материя после «Большого Взрыва» начала расширяться и постепенно охлаждаться. По мере расширения произошли фазовые переходы, в результате которых выделились физические силы взаимодействия материальных тел. При экспериментальных значениях таких основных физических параметров, как плотность и температура ( $\rho \sim 10^{96}$  кг/м<sup>3</sup> и  $T \sim 10^{32}$  К) на начальном этапе расширения Вселенной, различия между элементарными частицами и четырьмя типами физических взаимодействий прак-

Таблица 11.3

**Научная хронология основных этапов эволюции мира**

№	Основные этапы	Время этапа
1	Возникновение нашей Вселенной согласно теории «Большого Взрыва» и расширяющейся Вселенной	15–20 млрд л.н.
2	Образование нашей Галактики	13 млрд л.н.
3	Образование Солнечной системы	5 млрд л.н.
4	Ранняя история Земли	4,6–3,8 млрд л.н.
5	Геологические истории Земли, возникновение фотосинтеза, кислородной атмосферы и появление прокариотных организмов (т.е. состоящих из безъядерных клеток)	3,8–3,5 млрд л.н.
6	Появление эукариотных (ядерноклеточных) организмов	3,5–2 млрд л.н.
7	Появление первых многоклеточных организмов, дифференциация растительного и животного мира	1 млрд л.н.
8	Выход жизни из моря на сушу	400 млн л.н.
9	Начало эволюции млекопитающих	65 млн л.н.
10	Появление обезьян	35 млн л.н.
11	Становление человека умелого (австралопитек)	5,5–2,0 млн л.н.
12	Появление человека разумного (кроманьонец)	40–15 тыс. л.н.

тически отсутствуют. Они начинают проявляться, когда уменьшается температура и начинается дифференциация материи.

Таким образом, современные представления об истории возникновения нашей Метагалактики основываются на *пяти важных экспериментальных наблюдениях*:

1. Исследование спектральных линий звезд показывает, что Метагалактика в среднем обладает единым химическим составом. Преобладают водород и гелий.

2. В спектрах элементов далеких галактик обнаруживается систематическое смещение красной части. Величина этого смещения возрастает по мере удаления галактик от наблюдателя.

3. Измерения радиоволн, приходящих из космоса в сантиметровом и миллиметровом диапазонах, указывают на то,

что космическое пространство равномерно и изотропно заполнено слабым радиоизлучением. Спектральная характеристика этого так называемого фонового излучения соответствует излучению абсолютно черного тела при температуре около 2,7 градуса по Кельвину.

4. По астрономическим наблюдениям крупномасштабное распределение галактик соответствует постоянной плотности массы, составляющей, по современным оценкам, по крайней мере 0,3 бариона на каждый кубический метр.

5. Анализ процессов радиоактивного распада в метеоритах показывает, что некоторые из этих компонентов должны были возникнуть от 14 до 20 млрд лет назад.

### 11.3. Начальная стадия Вселенной

Начало Вселенной атомы и пустота, все же  
остальное существует лишь во мнении.

*Диоген*

Проблема возникновения структурности мира и жизни во Вселенной традиционно трактуется следующим образом: окружающая нас Вселенная обладает определенными физическими свойствами и закономерностями, познаваемыми нами. Как в таком случае происходит эволюция Вселенной, приводящая к достаточно сложным структурам, как зарождается и эволюционирует в такой Вселенной жизнь? От ответа на эти, во многом еще не решенные вопросы зависят возможность существования жизни в разных областях Вселенной и в другие времена и направления ее поиска.

Любая физическая теория, например уравнение Максвелла в электродинамике, ставит перед собой задачу дать полное физическое описание той или иной системы, если известен полный набор начальных данных, поскольку в различных физических явлениях начальные данные различны. Но если обратиться к космологии, которая должна описать свойства одной единственной системы — нашей Вселенной, вопрос о начальных данных и фундаментальных постоянных неразрывно связан с вопросом: почему Вселенная именно такая, какой мы ее наблюдаем. Прежде чем подойти к ответу на этот вопрос, рассмотрим, какими представляются современному естествознанию начальные условия нашей Вселенной.

Наиболее важным моментом современной стандартной космологической модели Вселенной является вопрос о свойствах ранней Вселенной. Удовлетворительное описание свойств ранней Вселенной дается в модели де Ситтера. Более поздние промежутки эволюции Вселенной описаны в модели Фридмана. Переход от одного закона к другому означает радикальное изменение основных свойств Вселенной в этот момент, изменение ее фазового состояния.

Модель экспоненциального роста размеров Вселенной де Ситтера  $R \approx \exp(H \cdot t)$  на начальной стадии ее эволюции получила название модели «раздувающейся Вселенной». По этой модели при  $t \rightarrow 0$  вся энергия мира была заключена в его вакууме. Деситтеровская стадия расширения длилась примерно  $10^{-35}$  с. Все это время Вселенная быстро расширялась (см. табл. 11.1), заполняющий ее вакуум как бы растягивался без изменения своих свойств. Образовавшееся состояние Вселенной было крайне неустойчивым, энергетически напряженным. В таких случаях достаточно возникновения малейших неоднородностей, играющих роль случайной затравки, чтобы вызвать переход в другое состояние (в качестве примера можно привести явление кристаллизации). При переходе вакуума в другое состояние мгновенно выделялась колоссальная энергия за счет разности его начального и конечного состояний. Примерно за  $10^{-32}$  с пространство раздулось в громадный раскаленный шар с размерами много большими видимой части Вселенной. При этом произошло рождение из вакуума реальных частиц, из которых со временем сформировалось вещество нашей Вселенной.

В последнее время усиленно обсуждаются причины того «первотолчка», который был началом расширения нашей Вселенной. Один из возможных механизмов, основанный на гипотезе о существовании кванта единого пространства-времени, описан в теории инфляционной Вселенной. Рассмотрим ее основные положения и выводы.

А. Эйнштейном была выдвинута идея о существовании космического отталкивания. Если учесть эти силы в уравнениях динамики Вселенной, то полное ускорение оказывается равным  $a = a_{\text{тяг}} + a_{\text{отт}}$ .

Ускорение тяготения  $a_{\text{тяг}}$  равно  $a_{\text{тяг}} = -GM/R^2$ .

Ускорение отталкивания  $a_{\text{отт}}$  в соответствии с гипотезой Эйнштейна пропорционально  $R$  и равно:

$$a_{\text{отт}} = \frac{\Lambda \cdot c^2}{3} R,$$

где  $\Lambda$  — космологическая постоянная, равная  $\approx 10^{-56} \text{ см}^2$ .

Рассмотрим случай, когда во Вселенной нет вещества, она «пуста». При этом  $M = 0$  и  $a_{\text{тяг}} = 0$ . Динамика Вселенной описывается ускорением  $a_{\text{отт}}$ . Можно показать, что при этом две пробные частицы, помещенные в такую пустую Вселенную, будут удаляться друг от друга по закону:

$$R = R_0 \exp(\sqrt{\Lambda / 3ct}).$$

Согласно современным концепциям естествознания вакуум — не пустота; в физическом вакууме непрерывно происходят процессы рождения и уничтожения виртуальных частиц. Это своеобразное «кипение» вакуума нельзя устранить, ибо оно означало бы нарушение одного из основных законов квантовой физики, а именно соотношения неопределенностей Гейзенберга. Как показал академик Я. В. Зельдович в 1967 г., в результате взаимодействия виртуальных частиц в вакууме появляется некоторая плотность энергии и возникает отрицательное давление. Такое вакуумно-подобное состояние неустойчиво и с течением времени распадается, превратившись в обычную горячую материю. Энергия вакуумно-подобного состояния перейдет в энергию обычной материи, гравитационное отталкивание сменится обычной гравитацией, замедляющей расширение. С этого момента Вселенная начнет развиваться по известной стандартной космологической горячей модели эволюции.

Рассмотрим исходные положения этой модели и ее основные результаты. Горячая модель Вселенной, как и любая другая, исходит из наблюдающегося в настоящее время факта ее расширения и объясняет три достоверно установленных факта — наличие барионной асимметрии Вселенной, космическое отношение числа фотонов к числу барионов, примерно равное  $10^9$ , и однородность и изотропность реликтового излучения. Теория «Большого Взрыва» в наши дни считается общепринятой. Согласно этой теории наша Вселенная развивалась из первоначального состояния, которое можно представить в виде сгустка сверхплотной раскаленной материи. Излучение и вещество в нем находились в тепловом равновесии. В этой ранней Вселенной фотоны эффективно

взаимодействовали с веществом, число частиц было равно числу античастиц.

В *развитии Вселенной* принято выделять следующие *четыре стадии*: «адронная эра», «лептонная эра», «эра излучения» и «эра вещества». **«Адронная эра»** продолжалась до  $t = 10^{-4}$  с. При этом  $\rho > 10^{14}$  г/см<sup>3</sup>,  $T > 10^{12}$  К. Важной особенностью этой стадии является сосуществование вещества (протонов и нейтронов) с антивеществом (антинейтронами и др.). Причем количество частиц в единице объема было того же порядка, что и фотонов. Основной вклад в гравитацию вносили тяжелые частицы — адроны. Они аннигилируют с античастицами, остается лишь небольшой избыток нуклонов, который в дальнейшем и определяет свойства нашего мира, т.е. значения его фундаментальных мировых постоянных. Самое начало (т.е. сингулярность) пока недоступно исследованию, так как при этом все главные параметры Вселенной (плотность, температура и т.п.) обращаются в бесконечность.

Далее (до  $t = 10$  с) шла **«лептонная эра»**, на протяжении которой температура снижалась с  $10^{12}$  К до  $5 \cdot 10^9$  К. С уменьшением температуры более эффективными становятся процессы соединения протонов с нейтронами с образованием дейтерия  $^2\text{H}$ , трития  $^3\text{H}$  и изотопов  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$ . Именно в это время и образуется основная часть гелия, содержащегося в звездах и галактиках. На долю гелия приходится около 30%, на долю водорода — около 70%, а на долю остальных химических элементов — менее 1% массы вещества. За счет термоядерных реакций в Галактике может образоваться около 2% гелия по массе. Поэтому основная масса гелия должна была присутствовать в Галактике изначально. По теории «горячей» Вселенной за первые 100 с образовалось 25% He и 75% H, что подтверждает и современный химический состав Метагалактики.

**«Эра излучения»** продолжалась от 10 с до  $10^{13}$  с, или 1 млн лет. При этом температура находилась в диапазоне  $300 \text{ К} < T < 10^{10} \text{ К}$ , а плотность —  $10^{-21} < \rho < 10^4$  г/см<sup>3</sup>. Основной вклад в гравитационную массу Вселенной вносило излучение. В начале эры закончился синтез гелия и продолжались процессы аннигиляции электронов с позитронами. Все это время температура излучения оставалась одинаковой с температурой вещества. Но как только температура уменьшилась до величины  $T = 3000 \text{ К}$ , энергии фотонов было уже недостаточно для ионизации атомов водорода.

Поэтому процессы рекомбинации электронов с протонами не уравниваются обратными процессами ионизации и происходит «отрыв» излучения от вещества. С этого момента главную роль в расширении Вселенной начинает играть не излучение, а вещество.

«Эра вещества» начинается с момента рекомбинации и продолжается до сих пор. На ее определенном этапе и начинаются процессы формирования галактик и звезд.

В заключение можно констатировать, что гипотеза горячего взрыва позволяет удовлетворительным образом интерпретировать все пять рассмотренных выше экспериментальных фактов. Именно поэтому современные представления о возникновении нашей Метагалактики основаны на изложении нами модели, хотя многие вопросы все еще остаются открытыми.

#### 11.4. Космологические модели Вселенной

Если бы вся Вселенная обратилась  
в одно государство, то как не установить  
повсюду одинаковых законов.

*Козьма Прутков*

Таким образом, сейчас Метагалактика расширяется. А что будет с ней в будущем? Теория А. А. Фридмана допускает здесь различные возможности в зависимости от средней плотности материи во Вселенной. При этом в зависимости от значения средней плотности вещества во Вселенной расширение  $\rho$  может происходить неограниченно во времени или же со временем расширение сменится сжатием. Эта зависимость определяется значением критической плотности,

рассчитанной из теории Фридмана и равной  $\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}$ .

Если  $\rho > \rho_{\text{кр}}$ , то расширение Вселенной со временем сменится сжатием. При этом геометрические свойства пространства определяются сферической геометрией Римана. Эта модель получила название закрытой (замкнутой) модели Вселенной.

Если  $\rho = \rho_{\text{кр}}$ , то геометрия Вселенной евклидова и расширение будет происходить неограниченно. Эта модель получила название модели стационарной Вселенной.



Если  $\rho < \rho_{\text{кр}}$ , то геометрия Вселенной аналогична геометрии на поверхности Лобачевского, — при этом расширение не ограничено во времени.

Модели Вселенной при  $\rho < \rho_{\text{кр}}$  получили название открытой модели Вселенной.

Внегалактическая астрономия дает среднее значение для постоянной Хаббла  $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$  и, следовательно,  $\rho_{\text{кр}} = 5 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ .

Подсчеты галактик показывают, что в Метагалактике их около  $10^{11}$ . Если принять, что масса каждой из них такая же, как и у нашей Галактики, то при размере Метагалактики около 600 Мпк средняя плотность вещества в ней равна  $5\text{--}10^{-31} \text{ г/см}^3$ . Так как это значение плотности на порядок меньше критического, то модель нашей Вселенной описывается геометрией пространства отрицательной кривизны и наблюдаемое ее расширение будет носить неограниченный характер.

При оценке средней плотности вещества в нашей Вселенной учитывалась только наблюдаемая (излучающая) масса вещества. В настоящее время обсуждается вопрос о существовании невидимой массы, или скрытой массы вещества, которую трудно обнаружить по ее излучению. Эта масса, возможно, сосредоточена в форме маломассивных звезд малой светимости, в «черных дырах» или в форме нейтрино. Учет этой невидимой массы может увеличить значение средней плотности вещества во Вселенной.

Но является ли теория расширяющейся Вселенной окончательным словом науки, исключаяющим любые другие космологические модели? «Моделям однородной Вселенной, — писали ученые В. А. Амбарцумян и В. В. Казютинский, — противостоит реальная Вселенная, фундаментальным свойством которой является неоднородность распределения вещества. Пренебрегать этим фактом нельзя. Отсюда следует, что модели Вселенной, построенные на столь грубом упрощении, как предположение об однородном распределении вещества, едва ли стоит фетишизировать».

Ни одна частная наука, например астрономия, не знает достоверно, каков мир в целом. Только основываясь на достижениях всех наук, можно по этому вопросу высказывать лишь более или менее правдоподобные предположения. Понятие неисчерпаемости и бесконечности материи меняются с развитием науки. В настоящее время многие ученые склоняются в пользу идеи о множественности миров с разными

фундаментальными постоянными и типами пространств и времен.

## Выводы

1. Космологическими проблемами вынуждали заниматься возникшие парадоксы — фотометрический, гравитационный и термодинамический, которые были разрешены в модели расширяющейся Вселенной. Расширение Вселенной было установлено Э. Хабблом при сравнении скоростей разбегания, измеренных по красному смещению в спектрах галактик, и расстояний до них.

2. Эйнштейн при работе над общей теорией относительности не знал о красном смещении в спектрах и расширении Метагалактики, поэтому исходил из идеи о стационарной Вселенной. Уравнения, полученные Эйнштейном, были детально исследованы де Ситтером и Фридманом. Последний нашел три модели развития Вселенной, определяемые средней плотностью вещества в ней.

3. Леметр связал эти модели с данными астрономических наблюдений и сделал допущение о «начале» Вселенной из точки, а также о первоначальных условиях, в которых находилась Вселенная. Эти условия характеризуются наличием высокой температуры и давления в сингулярности, в которой была сосредоточена материя. Их называют «Большим Взрывом». Такое допущение вполне согласуется с установлением расширения Вселенной, которое могло начаться с некоторого момента, когда она находилась в очень горячем состоянии и постепенно охлаждалась по мере расширения.

4. Гамов разработал модель горячей Вселенной, которую назвал «космологией Большого Взрыва». Теория получила подтверждение после открытия фонового излучения, которое осталось со времени «Большого Взрыва» и названо реликтовым. Так была повержена теория стационарной Вселенной, разработанная Хойлом.

5. По мере расширения и охлаждения во Вселенной происходили процессы разрушения существовавших раньше симметрий и возникновения на этой основе новых структур.

6. Гут и Линде разработали разные варианты первых долей секунды после «начала», называемые моделями инфляционной, или раздувающейся, Вселенной.

7. Дальнейшее развитие Вселенной разделяют на четыре эры: адронная, лептонная, излучения и вещества. В ад-

ронную и лептонную эры, продолжавшиеся до 10 с, температура Вселенной после взрыва упала до 6 млрд градусов и образовался основной химический состав вещества Вселенной, включающий 75% водорода и 25% гелия. На стадии излучения происходило непрерывное превращение вещества в излучение и наоборот излучения в вещество. Вследствие этого между веществом и излучением сохранялась симметрия.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

В необъятной Вселенной безмерно  
долгое время будут возникать для нас,  
одни за другим, новые нерешенные  
вопросы; таким образом, перед человеком  
лежит уходящий в бесконечность путь  
научного труда...

*Академик Ф.А. Бредихин*

### План семинара

1. Начальная стадия Вселенной.
2. Происхождение и эволюция Вселенной.
3. Космологические модели Вселенной.
4. Экспериментальные основы современной космологической модели Вселенной.
5. Философско-мировоззренческие проблемы космологической эволюции.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Доплера эффект** — если объект приближается к нам, то частота колебаний, исходящих от него, возрастает, если удаляется, то уменьшается.

**Изотропность** (*греч.* изо + tropos — свойство) — одинаковость свойств объектов (пространства, вещества и др.) по всем направлениям. Это условие служит одной из предпосылок стандартной модели Вселенной.

**Импульс** — в физике: произведение массы на скорость; в физиологии: быстро распространяющаяся по нервному волокну волна возбуждения.

**Инерциальная система** — каждая система, движущаяся прямолинейно и равномерно относительно первоначальной и в которой выполняются законы классической механики.

**Креационизм** (*лат. creatio* — создание) — тезис о божественном сотворении мира и человека.

**Реликтовое излучение** — космическое электромагнитное излучение, сохранившееся от ранних стадий эволюции Вселенной.

**Телеология** (*греч. «telos»* — цель + логия) — воззрение, считающее, что всякое развитие в мире служит осуществлением заранее predeterminedных целей.

**Тензор** — совокупность всех величин, определяющих метрику пространства — времени и его геометрические свойства.

**Однородность** — одинаковость свойств объектов (пространства, вещества и др.) во всех точках и областях. Это условие также служит одной из предпосылок стандартной модели Вселенной.

**Закон Хаббла** — закон, согласно которому красное смещение (а значит, и скорость удаления галактик) возрастает пропорционально расстоянию от галактик, можно записать в виде:  $V = HR$ , где  $V$  — лучевая скорость галактик;  $R$  — расстояние до нее;  $H$  — постоянная Хаббла.

### Задачи и упражнения

1. Определить скорость, с которой удаляются друг от друга галактики, разделенные расстоянием 10 Мпк.

*Решение.* По закону Хаббла скорость расширения  $V = HR$ ,  $H$  — постоянная Хаббла ( $50\text{--}100$  км/с·Мпк)  $\approx 75$  км/с·Мпк,  $V = 75$  км/с·Мпк  $\cdot 10$  Мпк = 750 км/с.

2. С какой скоростью удаляется от Солнечной системы некоторая туманность, если линия водорода  $\lambda = 434$  нм в ее спектре смещена в сторону длинных волн на  $\Delta\lambda = 13$  нм?

*Решение.* Смещение спектральной линии произошло вследствие эффекта Доплера

$$v = v_0 \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$

Так как  $v_0 = \frac{c}{\lambda}$ ,  $v = \frac{c}{\lambda + \Delta\lambda}$ , и, упрощая подкоренное выражение, соотношение запишется в виде:

$$\frac{c}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{c}{\lambda} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}, \left( \frac{\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^2 = \frac{c-v}{c+v}.$$

Решая последнее уравнение относительно  $v$ , получаем

$$v = \frac{c \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^2 \right]}{1 + \left( \frac{\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^2}, \quad v = \frac{c}{3}.$$

### Тестовые задания

1. По какому параметру определяется модель развития Вселенной в теории Фридмана?

- а) массе;
- б) температуре;
- в) светимости;
- г) скорости движения;
- д) средней плотности.

2. В какую эру в основном сформировался химический состав Вселенной?

- а) адронную эру;
- б) лептонную эру;
- в) эру излучения;
- г) эру вещества;
- д) при «Большом Взрыве».

3. Какая из следующих эр не принята в эволюции Вселенной?

- а) адронная эра;
- б) эра вещества;
- в) лептонная эра;
- г) атомная эра;
- д) эра излучения.

4. Что подтверждает модель расширяющейся Вселенной?

- а) красное смещение спектров галактик;
- б) реликтовое, фоновое излучение;
- в) критическая средняя плотность Метагалактики;

- г) однородность и изотропность Метагалактики;
- д) фотометрический, гравитационный, термодинамический парадоксы.

5. Исходя из однородности и изотропности свойств пространства А. Эйнштейн в ОТО показал, что наша Вселенная:

- а) открытая;
- б) замкнутая;
- в) пульсирующая;
- г) расширяющаяся;
- д) сжимающаяся.

6. Советский математик А. Фридман доказал, что замкнутая Вселенная:

- а) стационарна;
- б) открыта;
- в) покоится;
- г) не статична;
- д) взрывается.

7. Какой элемент наиболее распространен во Вселенной?

- а) Al; б) Si; в) H; г) O; д) He.

8. Согласно теории Фридмана, к какой модели близка наша Вселенная?

- а) пульсирующей;
- б) открытой;
- в) замкнутой;
- г) стационарной;
- д) расширяющейся;
- е) сжимающейся.

9. В какую эру сформировались значения фундаментальных мировых постоянных, определивших развитие нашей Вселенной?

- а) адронную эру;
- б) лептонную эру;
- в) эру излучения;
- г) в момент «Большого Взрыва».

10. Теорию «Большого Взрыва» и расширяющейся Вселенной предложил:

- а) А. Эйнштейн;
- б) А. Фридман;
- в) Э. Хаббл;

- г) Дж. Гамов;
- д) А. Пензиас.

11. Американский астрофизик Э. Хаббл по красному смещению спектров галактик показал, что наша Вселенная:

- а) стационарная;
- б) покоящаяся;
- в) расширяющаяся;
- г) сжимающаяся;
- д) замкнутая.

12. Когда произошел «Большой Взрыв» согласно современной науке?

- а) 5 млрд лет назад;
- б) 13 млрд лет назад;
- в) 4,6 млрд лет назад;
- г) 15–20 млрд лет назад;
- д) 10 млрд лет назад.

13. Какие звезды в нашей Галактике считаются по современным теориям наиболее старыми?

- а) горячие сверхгиганты;
- б) звезды, находящиеся в спиральных ветвях Галактики;
- в) звезды на главной последовательности;
- г) звезды шаровых скоплений.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. На какую физическую теорию опирается современная космология?

2. Какие этапы в своем развитии прошла современная теория космологии?

3. На каких данных основывается современная космология?

4. Что собой представляет стандартная модель Вселенной?

5. Когда по стандартной модели произошел «Большой Взрыв»?

6. Расскажите вкратце об эволюции Вселенной до возникновения макротел.

7. Как реликтовое излучение подтверждает стандартную модель?

8. Как связана эволюция Вселенной с разрешением прежних симметрий между физическими взаимодействиями?

9. Какое значение имеет парадигма самоорганизации материи?
10. Расскажите о значении открытий в космологии для формирования научного мировоззрения.
11. Сформулируйте закон Хаббла.
12. Какими наблюдениями подтверждается расширение Вселенной?
13. Охарактеризуйте кратко эволюцию Вселенной.
14. Какова структура Вселенной?
15. Возможен ли нуклеосинтез при увеличении постоянной Планка более чем на 25%?
16. Почему в результате первичного нуклеосинтеза не могли образоваться химические элементы, наблюдаемые в современной Вселенной?
17. Можно ли говорить о том, что реликтовое излучение сохранило память о структуре барионного вещества ранней Вселенной?
18. Как можно доказать, что все произошло из ничего?
19. На какие экспериментальные данные опирается современная космология?
20. Расскажите вкратце об эволюции Вселенной до возникновения макротел.
21. Назовите основные типы взаимодействий. Какую роль они играют в образовании новых структур?
22. Чем отличается космология, космогония, астрономия, астрофизика, космонавтика?
23. Как влияют фундаментальные взаимодействия на разных уровнях организации материи?
24. Какова природа реликтового излучения?

### Тематика рефератов

1. Модель «Большого Взрыва» и расширяющейся Вселенной.
2. Космологические модели Вселенной.
3. Теория горячей Вселенной.
4. Естественно-научная концепция развития и эволюции Вселенной.
5. Этапы образования и развития Вселенной.

### Литература

1. Гусейханов, М.К. Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.



- 
2. *Новиков, И. Д.* Эволюция Вселенной. — М., 1983. — С. 9.
  3. Бесконечность и Вселенная. — М., 1969.
  4. *Шама, Д.* Современная космология: пер. с англ. — М., 1973.
  5. *Ефремов, Ю. Н.* В глубины Вселенной. — М., 1977.
  6. *Шкловский, И. С.* Вселенная, жизнь, разум. — М., 1977.

## Глава 12

# ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ, ЗЕМЛИ

### 12.1. Происхождение и эволюция галактик и звезд

...Сущность Вселенной не имеет в себе  
силы, которая могла бы противостоять  
мужеству познания.

*Г. Гегель*

При построении рассмотренной выше космологической модели Вселенной принималось, что вещество в ней распределено однородно и изотропно. Имеется в виду среднее по Метагалактике распределение вещества. В действительности в настоящее время значительная масса вещества сконденсирована в форме галактик и скоплений галактик. Возникают следующие вопросы: какие причины приводят к фрагментации первоначально однородно распределенного, расширяющегося вещества Вселенной и почему наиболее существенные свойства галактик — их формы, размеры и массы — именно таковы?

Впервые вопрос о фрагментации однородно распределенного вещества рассмотрел английский ученый Дж. Джинс в 1902 г. Он исходил из того, что если в однородной среде возникает по каким-либо причинам сгущение — неоднородность с размерами  $r$ , то она может либо продолжать уплотняться (расти) под действием собственного тяготения, либо рассасываться (затухать) под действием газового давления. Направление протекания процесса зависит от того, будет ли размер сгущения больше или меньше критического. Критический размер легко оценить, если приравнять газовое давление в сгустке  $P_r = \frac{\rho}{M} RT$  давлению силы тяжести  $P_g = \frac{Gm^2}{r^4}$ .

Из этого условия следует, что размер сгущения определяется следующим соотношением  $r = \sqrt{\frac{RT}{Gm\rho}}$ .

Сгущения определенной массы могут формироваться лишь при определенных соотношениях между величинами  $T$  и  $\rho$ . Если, например, плотность догалактического вещества  $\rho \approx 10^{-24}$  г/см<sup>3</sup> (это средняя плотность Галактики), то сгущение массой  $m \approx 10^{11} m_0$  может образоваться лишь в случае, если температура  $T \approx 10^6$  К. При меньшей температуре образуются сгущения меньшей массы.

Наряду с массой важнейшей характеристикой галактики является мера ее осевого вращения — вращательный момент на единицу массы. Скорость вращения у эллиптических галактик гораздо меньше, чем у спиральных галактик. Очень медленное вращение эллиптических галактик не может объяснить их наблюдаемую эллиптичность, т.е. сплюснутость, подобно, например, тому, как действием центробежной силы можно объяснить сплюснутость земного шара у полюсов. По-видимому, сплюснутость эллиптических галактик объясняется самим характером звездных движений в таких галактиках. В противоположность этому влияние центробежной силы у сравнительно быстро вращающихся рукавов спиральных галактик весьма существенно. Есть среди части ученых мнение, что различия между эллиптическими и спиральными галактиками не является эволюционным эффектом. Другими словами, галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические, и в процессе эволюции тип галактики сохраняется. Структура галактики определяется начальными условиями ее образования, в частности характером вращения того сгустка газа, из которого она образовалась.

Сегодня имеются уже довольно хорошо разработанные модели превращения огромного облака газа, сжимающегося в результате действия закона всемирного тяготения, сперва в протогалактику, а потом в галактику. В самом начале следует представить себе огромный газовый шар, сжимающийся по закону свободного падения к центру. Первоначальная температура этого газа могла быть достаточно высокой, быстро уменьшалась, причем из-за гравитационной неустойчивости образовывались больших размеров сгущения, эволюционировавшие в облака. Вследствие беспорядочного движения эти облака сталкивались, что вело к их

дальнейшему уплотнению. На этом довольно раннем этапе из облаков стали образовываться звезды «первого поколения», состоящие в основном из водорода и гелия. Наиболее массивные из них успевали проэволюционировать задолго до того, как прекратилось сжатие протогалактик. Взрываясь как сверхновые, они обогащали межзвездную среду металлами. По этой причине звезды следующих поколений имели уже другой химический состав. Это привело, например, к тому, что звезды вблизи центра эллиптических галактик более богаты тяжелыми элементами, чем находящиеся на периферии, что как раз и наблюдается.

В спиральных протогалактиках звездообразование шло медленнее. Поэтому в них смог образоваться газовый диск довольно значительной массы. Этому способствовало также довольно быстрое вращение спиральных протогалактик, препятствующее оттеканию всего газа в область ядра и превращению его там в звезды. Другими словами, вращение протогалактик уменьшает скорость звездообразования.

Таким образом, разные типы галактик происходят от протооблаков с разными плотностями и разным разбросом скоростей внутренних движений. В частности, эллиптические галактики образовались из более плотных облаков газа, находящегося в состоянии довольно быстрого беспорядочного движения. В «бедных» разреженных скоплениях наблюдаются преимущественно спиральные галактики. Возраст галактик практически равен возрасту Вселенной.

Звезды могут образовываться в результате гравитационного сжатия неоднородностей в межзвездной среде. Межзвездная среда распределена очень неоднородно, она имеет клочковатую структуру. В некоторой области среды выполняется критерий Джинса и эти комплексы являются гравитационно неустойчивыми, они должны сжиматься. По мере сжатия критерий гравитационной неустойчивости Джинса начинает выполняться для неоднородностей внутри облака с меньшими массами, вплоть до солнечной. Массивное газопылевое облако начинает дробиться на менее массивные части, которые, сжимаясь, дают начало звездам.

Для того чтобы образовывавшаяся неоднородность с массой, равной массе звезды, — протозвезда могла сжиматься дальше, необходимо, чтобы по мере сжатия из нее отводилось тепло, выделившееся при сжатии. Таким механизмом отвода тепла является инфракрасное излучение пыли и молекул межзвездного газа. Значит, протозвезды являются мощными

источниками инфракрасного излучения. По мере того как протозвезда сжимается, плотность ее повышается, растет ее непрозрачность по отношению к инфракрасному излучению.

Дальнейшее, более медленное сжатие происходит до тех пор, пока температура внутри звезды не повысится настолько, что становятся возможными термоядерные реакции синтеза гелия из водорода. Расчеты показывают, что сжатие протосолнца от радиуса  $R = 10R_0$  до  $R = 1R_0$  продолжалось около 20 млн лет. Более массивные протозвезды эволюционируют быстрее, а менее массивные — медленнее.

Стабильное по излучению и свойствам состояние звезды продолжается до тех пор, пока в ее недрах не исчерпается ядерное горючее — водород. Ясно, что массивные звезды благодаря своей высокой светимости исчерпают свой водород быстрее, чем менее массивные.

По мере истощения водорода в центре звезды коэффициент непрозрачности вещества непрерывно уменьшается. Это приводит к непрерывной перестройке звезды, сопровождающейся сжатием ее ядра и ростом протяженности оболочки. Ядерные реакции синтеза гелия из водорода идут в узком слое, непосредственно окружающем ядро. По мере выгорания водорода в слоевом источнике масса гелиевого ядра постепенно увеличивается. Это приводит к увеличению силы тяжести, дальнейшему сжатию ядра и увеличению его температуры. При этом растет светимость звезды. Энергия не успевает переноситься излучением наружу, наступает конвекция. Сжатие ядра и повышение температуры происходит до тех пор, пока в нем не начнутся термоядерные реакции синтеза более тяжелых химических элементов. Например, при температуре в сотни миллионов градусов происходит синтез ядер атома углерода при слиянии трех ядер атома гелия, а затем при еще более высоких температурах образуются кислород, неон и т.д. При этом выделяется большое количество энергии, способное остановить сжатие ядра. Реакции синтеза идут с выделением энергии вплоть до образования ядер атомов железа. Образование более тяжелых химических элементов требует затраты энергии и приводит к охлаждению звезды. После выгорания водорода в ядре звезда становится красным гигантом или сверхгигантом в зависимости от своей массы.

Если масса звезды в 1,2 раза меньше массы Солнца, то после истощения водорода в ядре последнее начнет сжиматься. Сжатие ядра останавливается давлением вырожден-

ного электронного газа, т.е. ядро звезды представляет собой звезду — белый карлик. В то же время оболочка звезды увеличивается в размерах до 10—100 радиусов Солнца, так что сама становится красным гигантом. Довольно быстро оболочка вообще отделяется от ядра, и на месте звезды остается ядро — звезда белый карлик и расширяющаяся оболочка, т.е. феномен планетарной туманности. Затем за несколько тысяч лет расширяющаяся оболочка рассеивается в межзвездной среде, а белый карлик еще в течение сотен миллионов лет выделяет тепловую энергию, запасенную им при сжатии.

Такая судьба ожидает и наше Солнце через 5 млрд лет. Структура его определяется давлением вырожденного электронного газа, а перенос энергии из центра — теплопроводностью.

Если же первоначальная масса ядра звезды превосходит в 1,2 раза массу Солнца, но была в 2,4 раза меньше массы Солнца, то в ней после исчерпания ядерного горючего происходит катастрофа в виде вспышки сверхновой звезды. Сила тяжести настолько велика, что даже давление вырожденного электронного газа не в состоянии ей противодействовать. Поэтому по мере сжатия ядра здесь происходит распад ядер тяжелых элементов на более простые и превращение всех частиц в нейтроны. Протоны, которые входят в состав атомных ядер, образовавшихся на предыдущей стадии эволюции звезды, в конце концов превращаются в нейтроны. При больших плотностях ( $> 10^9$  кг/м<sup>3</sup>) согласно принципу запрета Паули в нейтронном газе будет также действовать специфическая сила отталкивания и равновесие поддерживается давлением нейтронного газа. Подтверждением наличия нейтронных звезд во Вселенной являются пульсары (пульсирующие звезды, обнаруженные в 1967 г.).

Если масса ядра звезды превосходит в 2,5—3 раза массу Солнца, то ее неограниченное сжатие под давлением силы гравитации уже ничем не остановить. Она превращается в «**черную дыру**». Скорость, необходимая для удаления с этой звезды, становится больше скорости света. Основываясь на законе всемирного тяготения и конечности скорости распространения света, возможность существования «черных дыр» предсказал еще в XVIII в. Лаплас. Звезда с массой, равной солнечной, при превращении в «черную дыру» имела бы радиус 3 км. Теоретические оценки показывают, что число «черных дыр» в Галактике может дости-

гать сотен миллионов. «Черную дыру» можно обнаружить, если она является компонентом двойной звезды — она может быть мощным источником рентгеновского излучения. Примером такого источника можно назвать мощный рентгеновский источник Лебедь X-1.

Название «черная дыра» связано с тем, что могучее поле тяготения сжавшейся звезды не выпускает за ее пределы никакого излучения (свет, рентгеновское излучение и т.д.). Поэтому «черную дыру» нельзя увидеть ни в каком диапазоне электромагнитных волн. В случае тесной двойной звезды гравитационное воздействие «черной дыры» притягивает газ с поверхности обычной звезды, образуя диск вокруг нее. Температура газа в этом вращающемся диске может достигь  $10^7$  К. При температуре в миллионы градусов Кельвина газ будет излучать в рентгеновском диапазоне. И по нему можно определить наличие в данном месте «черной дыры».

С эволюцией звезд тесно связан вопрос о происхождении химических элементов. Если водород и гелий являются элементами, которые остались от ранних стадий эволюции расширяющейся Вселенной, то более тяжелые химические элементы могли образоваться только в недрах звезд при термоядерных реакциях. Внутри звезд в ходе термоядерных реакций может образоваться до 30 химических элементов.

В конце эволюции звезда в зависимости от массы либо взрывается, либо сбрасывает более спокойно вещество, уже обогащенное тяжелыми элементами. При этом образуются остальные элементы периодической системы. Из обогащенной тяжелыми элементами межзвездной среды образуются звезды следующих поколений. Например, Солнце — звезда второго поколения, образовавшаяся из вещества, уже однажды побывавшего в недрах звезд и обогащенного тяжелыми элементами. Вот почему о возрасте звезд можно судить по их химическому составу, определенному методом спектрального анализа.

Дальнейшее развитие науки покажет, какие из сегодняшних представлений о происхождении галактик и звезд окажутся правильными. Но уже теперь нет сомнения в том, что звезды, во-первых, подчиняясь законам природы, рождаются, живут и умирают, а не есть однажды созданные и вечно неизменные объекты Вселенной и, во-вторых, звезды рождаются группами, причем процесс звездообразования продолжается в настоящее время.

## 12.2. Происхождение планет Солнечной системы

Все у нас Луцилий, чужое, одно лишь  
время наше. Только время ускользающее  
и текущее, дала нам во владенье природа,  
но и его кто хочет, тот и отнимет.

*Сенека*

Для изучения вопросов происхождения небесных тел важным является определение их возраста. Определение возраста земной коры основано на исследовании содержания в ней радиоактивных элементов (урана, тория и др.), а также радиоактивных изотопов таких элементов, как калий, аргон и др. Как известно, радиоактивные элементы непрерывно распадаются, причем процесс распада совершенно не зависит от внешних воздействий. При радиоактивном распаде образуются изотопы соседних элементов периодической системы Менделеева. Эти изотопы сами нередко оказываются радиоактивными, а значит, и они распадаются. Распад заканчивается, когда атомы радиоактивных элементов превращаются в нерадиоактивные атомы химических элементов и их изотопы. Например, распад уран ( $^{238}\text{U}$ ) завершается образованием нерадиоактивного изотопа свинца ( $^{206}\text{Pb}$ ). Промежуток времени ( $T$ ), по истечении которого остается половина начального количества радиоактивных атомов, характеризуется скоростью распада и называется периодом полураспада. Для определения возраста земной коры используются медленно распадающиеся изотопы, например урана ( $T \approx 4,5 \cdot 10^9$  лет), радиоактивный изотоп калия  $^{40}\text{K}$  ( $T \approx 1,3 \cdot 10^9$  лет) и др. Чтобы определить возраст земной коры, сравнивают содержание радиоактивных элементов и продуктов их распада в многочисленных пробах, взятых для анализа. Такое сравнение показывает, что возраст земной коры около 4,5 млрд лет. Примерно таков же возраст Земли как оформившейся планеты. К 3,5—4,5 млрд лет близок возраст лунных пород и метеоритов. Солнце, конечно, не может быть моложе Земли и Луны. Скорее всего, возраст Солнца (желтой звезды) — 5 млрд лет. Сопоставление возраста Солнечной системы с возрастом Метагалактики (будем считать его равным 15 млрд лет) показывает, что Солнце нельзя отнести к звездам «первого поколения». Вероятно, в состав его и планет вошел газ, уже побывавший в недрах более старых звезд. На ранних стадиях расширения Метагалактики, как вы уже знаете, вообще не было тяжелых химических эле-



ментов, которые впоследствии стали центрами конденсации твердых частиц, необходимых для формирования планет.

Кроме этого факта, гипотеза, объясняющая происхождение и развитие Солнечной системы, должна дать ответы и объяснить следующие основные закономерности, наблюдаемые в строении, движении и свойствах Солнечной системы:

1. Орбиты всех планет (кроме орбиты Плутона) лежат практически в одной плоскости, почти совпадающей с плоскостью солнечного экватора.

2. Все планеты обращаются вокруг Солнца по почти круговым орбитам в одном и том же направлении, совпадающем с направлением вращения Солнца вокруг своей оси.

3. Направление осевого вращения планет (за исключением Венеры и Урана) совпадает с направлением их обращения вокруг Солнца.

4. Среднее расстояние планет от Солнца (за исключением Нептуна и Плутона) подчиняется определенному закону (правилу Тициуса-Боде).

5. Суммарная масса планет в 750 раз меньше массы Солнца (почти 99,9% массы Солнечной системы приходится на долю Солнца), однако на их долю приходится 98% момента количества движения всей Солнечной системы.

6. Планеты делятся на две группы, резко различающиеся между собой по строению, физическим свойствам, — планеты земной группы и планеты-гиганты.

7. Подавляющее число спутников обращается вокруг планет практически по круговым орбитам, лежащим в большинстве случаев в плоскости экватора планеты, причем направление этого движения (за несколькими исключениями) совпадает с направлением осевого вращения.

История науки знает множество гипотез о происхождении Солнечной системы. Причем эти гипотезы появились значительно раньше, чем стали известны многие важные закономерности Солнечной системы. Значение первых космогонических гипотез состояло прежде всего в попытке объяснить происхождение небесных тел как результата естественного процесса, а не одновременного акта божественного творения. Кроме этого, некоторые ранние гипотезы содержали правильные идеи о происхождении небесных тел.

Немецкий философ И. Кант в своей книге «Всеобщая естественная история и теория неба» (1755 г.) разработал ги-

потезу, согласно которой вначале мировое пространство было заполнено материей, находившейся в состоянии первоначального хаоса. Под действием двух сил — притяжения и отталкивания — материя со временем переходила в более разнообразные формы. Элементы, имеющие большую плотность, по закону всемирного тяготения притягивали менее плотные, вследствие этого образовались отдельные сгустки материи. Под действием же сил отталкивания (которые якобы особенно эффективны, когда вещество находится в распыленном состоянии) прямолинейное движение частиц к центру тяготения заменялось кругообразным. Вследствие столкновения частиц вокруг отдельных сгустков и формировались планетные системы. Все это представлялось Канту настолько очевидным, что он не удержался от замечания, ставшего как бы символом естествознания: «Дайте мне материю, и я построю из нее мир, т.е. дайте мне материю, и я покажу всем, как из нее должен образоваться мир...».

Совершенно другая гипотеза о происхождении планет была изложена в книге П. Лапласа «Изложение системы мира» (1769 г.). По Лапласу, на ранней стадии своего развития Солнце представляло собой огромную, медленно вращающуюся туманность. Под действием силы тяжести протосолнце сжималось, поэтому оно принимало сплюснутую форму. И как только на экваторе сила тяжести уравнивалась центробежной силой инерции, от протосолнца отделялось гигантское кольцо, которое в дальнейшем охлаждалось и разрывалось на отдельные сгустки. Из них и формировались планеты. Такой отрыв колец от протосолнца, по Лапласу, происходил несколько раз. Аналогичным путем образовались и спутники планет. Гипотеза Лапласа, бывшая весьма популярной на протяжении почти ста лет, оказалась не в состоянии объяснить перераспределение момента количества движения между Солнцем и планетами. Расчет показывает, что если бы все планеты упали на Солнце (т.е. вернули ему потерянный им момент количества движения), то скорость его вращения была бы недостаточной для того, чтобы могло происходить отделение колец. Кроме того, для этой и других гипотез, исходя из которых планеты и их спутники образуются из горячего газа, «каменем преткновения» является еще следующее: из горячего газа планета сформироваться не может, так как этот газ очень быстро расширяется и рассеивается в пространстве.

В 20-е гг. прошлого века английский астроном Джинс разработал приливную теорию происхождения Солнечной системы. По этой теории в результате случайного сближения Солнца с какой-то звездой на Солнце образовалась гигантская приливная волна, приведшая к тому, что из двух противоположных точек его поверхности началось мощное извержение струй газа. Эти газовые массы очень быстро сгущались в облака, в которых росли «планетезимали» — небольшие твердые тела, из которых в дальнейшем сформировались планеты.

В 1930-х гг. было высказано предположение (Г. Рессел), что в прошлом Солнце было двойной звездой. Один из компонентов был разорван встречной звездой и образовал облако, из которого позже сформировались планеты. В дальнейшем эту гипотезу видоизменили (Ф. Хойл в 1944 г.). Было выдвинуто предположение, что один из компонентов вспыхнул как сверхновая звезда, сбросил газовую оболочку. Звезды разошлись, а из газовой оболочки образовалась планетная система.

Большую роль в разработке установившихся в настоящее время взглядов на происхождение планетной системы сыграли работы нашего соотечественника О. Ю. Шмидта. В основе теории О. Ю. Шмидта лежат два предположения: планеты сформировались из холодного газопылевого облака; это облако было захвачено Солнцем при его обращении вокруг центра Галактики. На основе этих предположений Шмидту удалось объяснить некоторые закономерности в строении Солнечной системы — распределение планет по расстояниям от Солнца, вращение и др. Гипотез было много, но если каждая из них хорошо объясняла часть исследований, то другая часть оставалась необъяснимой.

При разработке космогонической гипотезы прежде всего необходимо решить вопрос: откуда взялось вещество, из которого со временем сформировались планеты? Здесь возможны три варианта:

1. Планеты образуются из того же газопылевого облака, что и Солнце (И. Кант).

2. Облако, из которого образовались планеты, захвачено Солнцем при его обращении вокруг центра Галактики (О. Ю. Шмидт).

3. Это облако отделилось от Солнца в процессе его эволюции (Лаплас, Джинс).

Общую схему развития нашей планетной системы можно описать следующим образом. Около 5 млрд лет назад в протяженном газопылевом облаке, пронизанном магнитными силовыми линиями, образовалось центральное сгущение — **протосолнце**, которое медленно сжималось. Другая часть облака массой в 10 раз меньшей медленно вращалась вокруг него. В результате столкновения атомов, молекул и пылинок туманность постепенно сплющивалась и разогревалась. Так, вокруг Солнца образовался протяженный газопылевой диск. Его магнитное поле, «наматываясь» на протосолнце, способствовало передаче момента количества движения внешним слоям диска.

По одному из вариантов эволюции протопланетного облака, рассмотренному В.С. Сафроновым, вначале в этом облаке произошло деление компонентов — газа и пыли. Оседание пыли к центральной плоскости произошло примерно за 1000 оборотов облака вокруг Солнца. Одновременно протекал процесс роста пылинок до  $\approx 1$  см.

Под действием светового давления легкие химические элементы водород и гелий «выметались» из близких окрестностей Солнца. И, наоборот, попадая на пылинки, световые лучи тормозили их движение вокруг Солнца. При этом пылевые частицы теряли свой орбитальный момент количества движения и приближались к Солнцу. Этот механизм торможения «работает» даже в случае, если размеры частицы достигают нескольких метров. В конечном итоге это и привело к существенному различию в химическом составе планет, их разделению на две группы. Таким образом, вблизи экваториальной плоскости Солнца образовался слой пыли повышенной плотности. Как только плотность этого слоя достигла критического значения, в нем возникла гравитационная неустойчивость. Вначале образовались кольца, которые быстро распались на отдельные сгущения. Их исходные размеры и массы на расстоянии в одну астрономическую единицу от Солнца достигали 40 км и  $5 \cdot 10^{13}$  кг, а на расстоянии Юпитера — соответственно  $10^5$  км и  $10^{19}$  кг. За счет собственной тяжести происходило дальнейшее сжатие сгустков, их уплотнение, рост больших и разрушение малых. Превращение сгущенной пыли в отдельные твердые тела продолжалось всего 10 000 лет на расстоянии в 1 а.е. и около 1 млн лет на расстоянии Юпитера от Солнца.

Далее в результате взаимных столкновений происходило слипание отдельных пылинок и образование твердых

тел. Расчеты показывают, что эффективность взаимных столкновений пропорциональна четвертой степени радиуса сгущения (планетезимали). Это привело к быстрому росту размеров наибольших из них. В результате столкновений их орбиты приближались к круговым, а сами они превращались в зародыши планет. Со временем выживали лишь те из них, орбиты которых с учетом их взаимного притяжения оказались устойчивыми.

Подобно планетам земной группы, формировались зародыши планет-гигантов — Юпитера и Сатурна, хотя время их конденсации было в несколько раз большим. В данном случае, как только масса протопланеты достигала величины двух-трех масс Земли, начиналась интенсивная *аккреция* (т.е. процесс падения вещества на космическое тело из окружающего пространства) газа, входящего в протопланетное облако.

Чтобы согласовать расчеты с наблюдениями, приходится ввести допущение, что в процессе роста планет-гигантов значительное количество твердого вещества было выброшено из Солнечной системы. Это привело к образованию на ее периферии облака комет, которое частично сохранилось и до наших дней.

Направление и скорость вращения планеты вокруг своей оси устанавливаются статистически как суммарный результат объединения многих планетезималей и выпадения на зародыш планеты тел из «спутникового роя», окружающего каждую планету на раннем этапе ее формирования. Как оказалось, по наклону оси вращения планеты к плоскости эклиптики можно оценить массу самых больших тел, выпадавших на планету. В частности, для нашей планеты эти массы не превышали 0,001 массы Земли. То, что ось вращения Урана наклонена к плоскости ее орбиты под углом  $98^\circ$ , связано с влиянием Юпитера и Сатурна. Как только массы этих планет возросли до двух-трех масс Земли, они своим притяжением вносили возмущения в движение других планетезималий, придавая им большие скорости, достаточные для того, чтобы вылетать за пределы Солнечной системы. Случайное столкновение этих тел с протоураном и привело к упомянутой аномалии в его вращении вокруг своей оси. Массы наибольших тел, выпадавших на Уран, достигали величины 0,07 массы этой планеты.

Зародыши планет-гигантов не только препятствовали формированию планеты в зоне астероидов между Марсом

и Юпитером, но привели и к значительному уменьшению конечной массы планеты Уран.

Несмотря на сходство образования и состава исходного материала планет земной группы, в настоящий момент заметно различие в достигнутом уровне развития планет. На других планетах отсутствуют не только признаки жизни, но даже такие химические соединения, которые в ходе дальнейшей эволюции могли бы привести к появлению примитивных органических форм. Земля же обладает богатым, в высшей степени развитым органическим миром.

Сравнение физических характеристик планет земной группы позволило выявить ряд общих закономерностей их происхождения и последующей эволюции. В раннюю историю своего существования все планеты, как и Земля, пережили три общие для них фазы развития: 1 — фазу аккреции; 2 — фазу расплавления внешней среды (а возможно, и недр) и 3 — «лунную фазу» (стадию первичной коры). Совокупность этих фаз составляет раннюю историю планет. В раннюю историю Земля в своем развитии не отличалась от других планет. Во все последующее время до современной эпохи включительно, т.е. на протяжении 3,5–4,0 млрд лет, все планеты, за исключением Земли, развивались более или менее однотипно, хотя степень активности как внутренних, так и внешних планетных процессов была разной. Чем большую массу имеет планета, тем большее количество радиогенной и гравитационной энергии образуется в ее недрах. Соответственно и более активно протекают у планеты эндогенные процессы — вулканизм и тектонические движения. У небесных тел (Луны и Меркурия) вулканизм прекратился уже более 3 млрд лет назад. На Марсе он до недавнего времени был весьма активным. На Венере (по косвенным данным) и на Земле интенсивный вулканизм продолжался на протяжении всей их истории вплоть до настоящего времени.

К числу общих закономерностей развития планет земной группы относятся следующие:

1. Все планеты произошли из единого протопланетного газопылевого облака (туманности) в результате его конденсации и аккреции образовавшихся сгустков материала и рассеянного вещества. Более крупные скопления росли быстрее за счет присоединения к себе меньших агрегатов и рассеянного материала и превращались в зародыши планет — планетезимали.

2. В конце стадии аккреции, т.е. приблизительно 4,5 млрд лет назад, под влиянием быстрого накопления тепловой энергии за счет трансформированной метеоритной кинетической энергии внешняя оболочка планет претерпела полное расплавление.

3. В результате последующего остывания внешних слоев литосферы образовалась кора. В ее состав вошли более легкие компоненты основной магмы. Более тяжелые вследствие гравитационной дифференциации сконцентрировались ниже коры, образовав мантию планеты. На этот же период приходится расплавление и центральной области планеты за счет накопления радиогенной и гравитационной энергии. Таким образом, на раннем этапе существования планет произошла дифференциация их вещества на ядро, мантию и кору.

4. Индивидуально происходило развитие внешней области планет. Формирование природной обстановки происходило и происходит под влиянием климатического фактора, но степень его полноты весьма неодинаковая на разных планетах, а отсюда и неодинаков эффект его действия. Важнейшим условием здесь является наличие или отсутствие у планеты атмосферы и гидросферы. Причем определяющим следует признать не сам факт их наличия или отсутствия, а определенное сочетание их параметров. Для атмосферы это будут химический состав, плотность, температурный режим, циркуляция и т.д.; для гидросферы — общая масса воды и ее фазовое состояние — твердое, жидкое или газообразное. Из них наибольшей активностью обладает вода в жидкой фазе.

5. Вследствие полного отсутствия воды на безатмосферных Луне и Меркурии или наличия ее в малом количестве и не в жидкой фазе на Марсе и Венере на этих планетах экзогенные процессы не могут подавить морфологический эффект метеоритной бомбардировки, поэтому кратерный тип рельефа безраздельно господствует на Луне, Меркурии, Венере и преобладает на Марсе. Марс в прошлом имел более теплый и влажный климат, жидкую воду и соответственно относительно высокую активность экзогенных процессов, действие которых выразилось в существенной переработке первичного рельефа ударных кратеров.

6. С циркуляцией воды во внешней оболочке Земли связано функционирование на нашей планете мощного комплекса экзогенных процессов, оказывающих огромное влияние на другие компоненты — литосферу, органический мир, вовлечение их в глобальные круговороты.

## 12.3. Происхождение и эволюция Земли

Человек познает сам себя только в той мере, в какой он познает мир.

*И. Гете*

Время существования Земли делится на два существенно различных периода: ранняя история и геологическая история.

**I. Ранняя история Земли** разделяется на три фазы эволюции: фазу рождения, фазу расплавления внешней сферы и фазу первичной коры («лунную фазу»). Охарактеризуем их кратко.

**Фаза рождения** продолжалась 100 млн лет. При этом на растущую Землю падало большое количество крупных тел. Вместе с крупными телами на Землю падали и самые крупные объекты — планетезимали, зародыши «неудавшихся» планет. Их поперечники измерялись многими километрами и даже десятками километров. В фазу рождения Земля приобрела приблизительно 95% современной массы.

**Фаза расплавления** протекала 4,6—4,2 млрд лет назад (длительность 0,4 млрд лет). Во время аккреции Земля долго оставалась холодным космическим телом, и только в конце этой фазы, когда началась предельно интенсивная бомбардировка ее крупными объектами, произошло сильное разогревание, а затем полное расплавление вещества сначала внешней зоны планеты, потом и внутренней области.

Наступила продолжительная фаза гравитационной дифференциации вещества: тяжелые химические элементы и их соединения опускались вниз, легкие поднимались вверх. Поэтому постепенно в процессе дифференциации вещества в центре Земли сосредоточивались тяжелые химические элементы (железо, никель и др.), из которых образовалось ядро, из более легких соединений возникла мантия Земли. Кремний и другие химические элементы стали основой формирования континентов, а самые легкие химические соединения образовали океаны и атмосферу Земли. В земной атмосфере первоначально было много водорода, гелия и таких водородосодержащих соединений, как метан, аммиак, водяной пар. Со временем водород и гелий улетучились.

**Лунная фаза** продолжалась 400 млн лет (от 4,2 до 3,8 млрд лет назад). При этом остывание расплавленного вещества внешней сферы Земли привело к образованию тонкой пер-



вичной коры базальтового состава. В это же время происходило формирование гранитного слоя материковой коры. Континенты сложены в основном гранитами и гнейсами, т.е. горными породами, содержащими 65–70% кремнезема —  $\text{SiO}_2$  и значительное количество щелочей — соединений калия и натрия. Между тем ложе океанов подстилается базальтами — породами, содержащими 45–50%  $\text{SiO}_2$  и богатыми магнием и железом. Таким образом, континенты оказываются построенными менее плотным, более легким материалом, чем дно океанов. К тому же кора континентов намного толще (в среднем 35–40 км), чем кора океанов (5–7 км). Благодаря этому континенты минимум на 5–6 км возвышаются над ложем океанов. На некоторой глубине, где в верхней мантии находится пластичный слой (так называемая астеносфера), легкие, но толстые континентальные глыбы и тяжелые, но тонкие океанские плиты должны уравнивать друг друга (закон изостазии, равновесия). Поэтому *главным фактором формирования рельефа земной поверхности является взаимодействие движущихся в горизонтальном направлении литосферных плит*. В зонах раздвига плит, проходящих в океанах, происходит образование срединно-океанских хребтов.

Из-за широкого распространения метеорных кратеров фаза существования ранней коры называется «лунной фазой». В лунную фазу существования Земля постепенно охлаждалась от температуры плавления базальтов (1000–800 °С) до 100 °С. С преодолением температурного рубежа +100 °С связано все последующее преобразование природной среды и эволюция земной коры.

**II. Геологическая история** — это принципиально новый период развития Земли как планеты в целом, так и особенно ее коры и природной среды. После охлаждения земной поверхности до температуры ниже 100 °С на ней образовалась огромная масса жидкой воды, которая представляла собой не простое скопление неподвижных вод, а находящиеся в активном глобальном круговороте. В структурном отношении круговорот распадался на звенья: атмосферное (испарение, перенос влаги, осадки), литосферное (поверхностные и подземные стоки), океаническое. В процессе круговорота происходит поглощение солнечной энергии и распределение ее по земной поверхности.

Глобальная эволюция Земли развивалась под влиянием космических, эндогенных и экзогенных факторов. К *эндо-*

генной энергии относится гравитационная энергия. Земля обладает наибольшей массой из планет земной группы и поэтому имеет наибольшую внутреннюю энергию — радиогенную, гравитационную и др. В *экзогенном* факторе необычайную активность проявила вода, находившаяся раньше в виде пара в атмосфере. Земля стала тем *космическим* телом, которое оказалось неблагоприятным для длительного сохранения ударных кратеров вследствие высокой активности действующих на ней экзогенных процессов разрушения.

За счет парникового эффекта температура поверхности повышается на  $38^\circ$ : вместо  $250\text{ К}$  ( $-23^\circ\text{С}$ ) стала  $288\text{ К}$  ( $+15^\circ\text{С}$ ). Если бы этого не произошло, то в природной среде жидкой воды было бы не 95% общего количества в гидросфере, а во много раз меньше. Мощность потока солнечной радиации у верхней границы земной атмосферы (солнечная постоянная) составляет  $1,95\text{ ккал/см}^2\cdot\text{мин}$ , что в годовом исчислении выражается в  $1000\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$ . В связи же с шарообразностью Земли, а следовательно, с учетом не освещенной Солнцем стороны планеты, а также тех пространств земной поверхности, где солнечные лучи падают под острым углом, средняя мощность потока солнечной радиации оказывается равной приблизительно  $250\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$ . При альбедо (коэффициент отражения света) Земли  $0,33\text{--}0,35$  в земную атмосферу вступает энергетический поток напряженностью лишь  $167\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$ . Часть этой энергии поглощается атмосферой, и лишь  $79\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$  задерживается земной поверхностью, трансформируется ею и работает, т.е. возбуждает и поддерживает течение экзогенных процессов.

Поглощаемая земной поверхностью солнечная радиация в размере  $79\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$  используется следующим образом:  $66\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$  идет на испарение;  $11\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$  — на турбулентный теплообмен тропосферного воздуха;  $1\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$  — на биологические процессы и химические превращения минералов коры выветривания. Мощность теплового потока из недр Земли на континентах составляет  $0,033\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$ . Таким образом, земная поверхность использует на природные процессы солнечную радиацию в количестве  $79\text{ ккал/см}^2\cdot\text{год}$ , т.е. в 2182 раза больше, чем тепловой поток Земли.

Поэтому глобальный процесс формирования географической оболочки и ее функционирования возможен толь-

ко на основе солнечной радиации с учетом потенциальной энергии силы тяжести масс горных пород. Солнце снабжает Землю теплом, необходимым для поддержания ее температуры в подходящем диапазоне, охватывающем всего около  $100^{\circ}$ , не нагревая ее чрезмерно. Следует, однако, иметь в виду, что небольшое изменение всего лишь на несколько процентов количества тепла, получаемого Землей от Солнца, приведет к сильным изменениям земного климата. Земная атмосфера играет чрезвычайно важную роль в поддержании температуры в допустимых пределах. Она действует как одеяло, не допуская слишком сильного повышения температуры днем и чрезмерного понижения температуры ночью.

**Эволюция атмосферы.** В фазу расплавления огромные массы выделявшихся газов образовали первичную атмосферу Земли. Основными компонентами выделявшихся из недр Земли газов были углекислый газ и водяной пар, что аналогично составу летучих компонентов при современных вулканических извержениях ( $\approx 80\%$  вода,  $\approx 10\%$  углекислый газ). После охлаждения земной поверхности до температуры ниже  $100^{\circ}\text{C}$  произошел переход атмосферного водяного пара в жидкую воду. Так как углекислый газ легко растворяется в воде, то преобладающая его часть была поглощена водой. В настоящее время в океанических водах в 60 раз больше углекислого газа, чем его имеется в атмосфере. Воздушная среда не только утратила почти всю воду, находившуюся в ней в виде пара, но в ней осталось мало и  $\text{CO}_2$ . Во много раз уменьшилось и ее давление. Дальнейшая эволюция атмосферы связана главным образом с появлением и развитием органического мира, прежде всего растительного. Атмосфера предохраняет нас не только от огромных колебаний температур. Это неоценимая защита от метеорных тел, непрерывно бомбардирующих Землю из межпланетного пространства. Метеорные тела сталкиваются с Землей со скоростью до  $72\text{ км/с}$ . Сила удара метеоритной частицы массой всего  $0,001\text{ г}$ , несущейся с такой скоростью, такая же, как у пули пистолета 45-го калибра при выстреле в упор. Хотя размеры частицы не больше пылинки и меньше средней песчинки, она все же опасна для человека. Ежедневно в земную атмосферу вторгаются миллиарды частиц, создавая слабые метеоры, которые можно видеть только в телескоп. Слабейшие метеоры, видимые невооруженным глазом, в несколько раз крупнее. Большинство этих тел быстро испаряется в ат-

мосфере из-за сопротивления воздуха. Наше счастье, что мы защищены атмосферой от метеорных тел, но все равно некоторые из них, наиболее массивные, способны достичь поверхности Земли и вызвать разрушения. Большой метеоритный кратер в Аризоне (США) образовался около 24 000 лет назад при взрыве громадного тела. Диаметр этого кратера больше километра, и даже сейчас его глубина достигает приблизительно 200 м, несмотря на его заполнение породой вследствие эрозии. Вокруг Аризонского кратера были в изобилии найдены мелкие железные метеориты, но не удалось обнаружить ни одного крупного осколка ни путем бурения, ни с помощью радиодетектирования. Железный метеорит взорвался при ударе о землю с силой, намного превышающей силу любых известных взрывов. Тунгусский метеорит 1908 г. взорвался с такой силой, что деревья были повалены на расстоянии до 30 км от места взрыва. В этом случае упавшее тело было почти наверняка обломком кометы малой плотности, разрушившимся в атмосфере на высоте нескольких километров. В 1947 г. на Дальнем Востоке упал большой железный (Сихотэ-алинский) метеорит, образовавший большое число кратеров. В 1972 г. поблизости от западного побережья Северной Америки, на расстоянии всего лишь 50 км пронеслось тело массой 100 т и более. Если в прошлом столетии были зарегистрированы падения двух крупных метеоритов на суше и одно падение вблизи побережья, то над океаном таких событий, которые остались незамеченными, должно быть в несколько раз больше.

Исчезновение динозавров в конце мелового периода 65 млн лет назад, а также окончание других геологических периодов могло быть следствием падения на Землю тел размерами с астероид. Ученые обнаружили, что в осадках позднемелового периода содержание сравнительно редкого элемента иридия в 30—160 раз выше, чем в более ранних и более поздних пластах. В земных породах иридия содержится гораздо меньше, чем на Солнце и метеоритах, вероятно, потому, что он осел ближе к центру Земли вместе с железом. Его повышенная концентрация в позднемеловом слое является сильным доводом в пользу того, что в то время в Землю врезался астероид диаметром около 10 км. В результате мощного взрыва в атмосферу были подняты тучи пыли (свыше тысячи кубических километров). Такого количества пыли достаточно для того, чтобы в течение нескольких лет преграждать путь солнечным лучам.

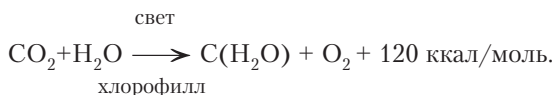
Возможно, при этом был нарушен процесс фотосинтеза, что прервало пищевую цепь и от голода вымерли многие позвоночные массой более 10 кг, исчезла половина всех видов живых организмов.

Атмосфера защищает нас не только от малых метеоров, но и от смертоносной космической радиации. Под действием солнечных лучей в атмосфере образуется озон (молекула которого состоит из трех атомов кислорода); он образует защитный слой от более коротковолнового излучения в дальней ультрафиолетовой области, представляющего опасность для всего живого. Если бы весь поток ультрафиолетового излучения достигал земной поверхности, то жизнь на Земле в какой-либо форме вообще не могла бы существовать, по крайней мере на суше. Атмосфера задерживает также многие частицы, опасные для жизни.

**Развитие литосферы и рельефа.** Наиболее характерная особенность строения рельефа и земной коры — наличие материковых массивов и океанических впадин. Общая направленность структурного развития земной коры заключается в том, что на первичной базальтовой коре под влиянием действия геосинклинального процесса, т.е. образования линейных тектонических структур, стали возникать острова материковой коры. Этот процесс начался в архейскую эру. В результате действия геосинклинального процесса, включающего в себя складчатость и гранитизацию, происходила консолидация обширных областей земной коры. Она сопровождалась увеличением масс горных пород гранитного слоя материковой коры, возрастанием ее мощности над уровнем моря. С мезозойской эры начал развиваться процесс раскола материковой коры и раздвижения ее в стороны от образовавшихся рифтов. Это привело к дрейфу континентов. С появлением на Земле воды произошло скачкообразное возрастание темпа развития ее внешней области. Геотектонический процесс создания материков (геосинклинальный процесс) также мог развиваться только в условиях морских бассейнов.

**Эволюция биосферы.** Эволюция химических соединений, приведшая к зарождению жизни, началась с появления на Земле масс жидкой воды, т.е. с ранней геологической истории. Время образования предбиологических систем (коацерватов) продолжалось около 1 млрд лет. Самые старые ископаемые клетки образовались в архейский период развития Земли, продолжавшийся от 3,4 до 2 млрд лет назад.

В протерозое, длившемся от 2 млрд лет до 600 млн лет назад, образовались наиболее старые из фотосинтезирующих растений. В конце протерозоя образовались различные организмы. Среди них отпечатки 13 видов медузообразных кишечечно-полостных, некоторые виды червей и животных, не похожих на формы более позднего времени. Уже существовал биотический круговорот вещества и энергии. Зеленые растения, водоросли и фотосинтезирующие бактерии путем фотосинтеза поглощали из воздушной среды углекислый газ и воду, а выделяли из нее кислород. Общее уравнение фотосинтеза выражается так:



Таким образом, в процессе фотосинтеза атмосфера обогащается кислородом и теряет углекислый газ. Современный состав атмосферы (азот — 78%, кислород — около 21%, углекислый газ — 0,031%) — результат деятельности органического мира. При солнечном излучении в области спектра от 1000 до 2000 Å происходит реакция между атомом и молекулой кислорода с образованием озона:  $\text{M} + \text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$ . Наибольшая концентрация озона находится на высоте 25 км над поверхностью Земли. Это так называемый озоновый слой, поглощающий излучение в диапазоне волн короче 3000 Å.

*Палеозойская эра* (от 600 до 225 млн лет назад) — это время древней жизни. В начале палеозоя суша представляла голую пустыню, а в море обильно развивались сине-зеленые и красные водоросли, а также представители всех типов животных организмов. В развитии биосферы выход растений на сушу — настоящая революция. В условиях жаркого влажного климата происходило произрастание огромных древовидных растений, папоротников и отложения их в прибрежных осадках.

*Мезозойская эра* (от 225 до 70 млн лет назад) характеризуется дальнейшим развитием растительного и животного мира как на суше, так и на море. Произошло массовое распространение рептилий — динозавров, черепах, древних крокодилов, ихтиозавров. В *кайнозойскую эру* (от 70 млн лет назад до настоящего времени) развивались млекопитающие. Итак, начиная с древнейших времен до современной

эпохи шло непрерывное развитие биосферы — увеличение разнообразия живых форм и усложнение их организации. Жизнь, зародившись в море, захватила и сушу.

На ранней стадии своего развития протоземля была окружена роем небольших спутников, радиусы которых достигали 100 км. Со временем из них на расстоянии около 10 земных радиусов сформировалась Луна. Одновременно в результате приливных воздействий начался процесс ее медленного удаления от Земли, который продолжается до сих пор и сопровождается уменьшением скорости вращения Земли вокруг своей оси.

Таким образом, хотя есть много трудностей в объяснении эволюции Солнечной системы, можно уверенно говорить о том, что планеты и Солнце образовались из одного газопылевого облака и что сами планеты сформировались из роя холодных и твердых тел.

## Выводы

1. На определенной стадии эры вещества произошла фрагментация однородно распределенного вещества Вселенной. Согласно критерию Джинса сгущения, возникшие в однородной среде, либо уплотняются под действием сил тяготения, либо рассасываются под действием газового давления. Критический размер сгущения и его масса по критерию Джинса зависят от соотношения температуры и плотности.

2. Структура галактики определяется начальными условиями ее образования. Другими словами, галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические и в процессе эволюции тип галактики сохраняется. В настоящее время имеются уже довольно хорошо разработанные модели превращения огромного облака газа, сжимающегося в результате действия закона всемирного тяготения, сперва в протогалактику, а потом в галактику.

3. Наша Галактика — гигантская звездная система, состоящая из 200 млрд звезд и представляющая собой диск с утолщением в центре — гало. Считается, что она образовалась примерно 13 млрд лет назад. Среди звезд, или населения, есть звезды более молодые и более старые, причем молодые звезды сконцентрированы в достаточно тонком диске, а старое население Галактики почти равномерно занимает сферический объем с увеличивающейся концентрацией к центру.

4. Согласно концепции эволюции звезд, из газопылевых комплексов, наблюдаемых в виде туманностей, под действием тяготения образуются фрагменты, по форме напоминающие шар. Этот шар постепенно вращается, уплотняется, разогревается изнутри — образуется протозвезда. При достижении температуры 8 млн К начнутся термоядерные реакции, прекращающие дальнейшее сжатие, и протозвезда становится звездой.

5. Скорость эволюции звезд зависит от их первоначальной массы. Состояние горячего белого карлика — вероятное будущее звезды с массой, примерно равной солнечной, — до  $1,2 M_{\odot}$ . Устойчивое состояние таких звезд длится примерно 9—10 млрд лет. После выгорания водорода в центре такой звезды образуется ядро из гелия, в оболочку которого перенесутся термоядерные реакции. Внешние оболочки начнут расширяться, и звезда превратится в красного гиганта. Его оболочка постепенно теряется в пространстве, а горячее ядро, сжимаясь, станет белым карликом. Большие звезды — бело-голубые гиганты и сверхгиганты могут эволюционировать до 1 млрд лет. В их недрах температуры много выше солнечных и там идут термоядерные реакции с образованием новых химических элементов. Звезды с массами, меньшими двух солнечных, могут потерять устойчивость на последних этапах эволюции и взорваться как сверхновые, обогатив пространство тяжелыми химическими элементами, а затем сжаться до состояния нейтронной звезды. Нейтронные звезды и «черные дыры» — возможное будущее достаточно массивных звезд с массами, превышающими солнечную более чем вдвое.

6. Современная наука предлагает картину рождения и развития Солнечной системы из холодного газопылевого комплекса — протопланетного облака около 5 млрд лет назад. Исследования распространенности химических элементов на планетах показывают, что все планеты имеют единое происхождение и единый возраст.

7. В формировании Земли существенную роль играло тепло недр и процессы радиоактивного распада. Формирование земной коры происходило в течение длительного периода, который в соответствии с данными палеонтологии разделен на эры, периоды, эпохи, века. Большую роль в эволюции Земли сыграло наличие гидросферы и появление органической жизни на ней.



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Нет ничего более полезного  
и практического, чем хорошая теория.

*Л. Больцман*

### План семинара

1. Строение. Критерий Джинса. Происхождение, эволюция галактик и их строение.
2. Эволюция звезд и их характеристика.
3. Солнечная система и ее происхождение.
4. Происхождение и эволюция Земли.
5. Взаимосвязь Земли с Солнцем и космосом.

### Методические советы и упражнения

#### Основные понятия

**Белые карлики** — звезды, отличающиеся большой плотностью вещества (плотнее воды в десятки и сотни тысяч раз), имеющие очень малые размеры и светимость и вместе с тем высокую температуру.

**Гравитационный коллапс** — катастрофическое сжатие массивной звезды под действием сил тяготения после исчерпания в ее недрах источников ядерной энергии. Ведет к образованию пульсара, или «черной дыры».

**Квazar** — квазизвездный источник энергии, предположительно являющийся протоядром новых галактик. Возможно, представляет собой особую точку Вселенной, в которой сохранилось сверхплотное вещество.

**Литосфера** (*греч.* «lithos» — камень, «sphaira» — шар) — твердая сфера Земли, состоящая из нескольких литосферных плит и имеющая в структуре ядро, мантию и кору.

**Магнитосфера** — область пространства, заполненная магнитными силовыми линиями, соединенными с Землей, и заселенная заряженными частицами, образуя радиационные пояса.

**Мантия** (*греч.* «mantios») — слой Земли, расположенный между корой и ядром, имеющий иной химический состав и плотность. В мантии имеется слой, называемый астеносферой, где вещество находится в близком к плавлению состоянии, вязкость его сильно понижена, литосферные плиты плавают в полужидкой астеносфере.

**Нейтронные звезды** — небесные тела, возникающие в результате того, что оголенные ядра поглощают электроны, превращая свои протоны в нейтроны, которые могут компактно упаковываться, так как нейтральны.

**Новые звезды** — звезды, блеск которых неожиданно возрастает в сотни, тысячи, а иногда в миллион раз, затем через некоторое время (примерно через год) возвращается в спокойное состояние.

**Пульсары** — пульсирующие источники радиоизлучения — космические объекты, которые излучают радиоволны в виде отдельных импульсов, строго следующих друг за другом с периодом от долей секунды до нескольких секунд. Предполагается, что пульсары — это быстровращающиеся нейтронные звезды.

**Протогалактики** — гигантские водородно-гелиевые облака, которые под действием собственной гравитации дают начало образованию первых звезд и звездных скоплений.

**Протуберанцы** (лат. «protuberare» — вздываться) — громадные, протяженностью до сотен тысяч километров, светящиеся образования в солнечной короне причудливой, иногда быстро меняющейся формы, состоящие из относительно холодного и более плотного, чем окружающая корона, газообразного вещества. На диске Солнца наблюдаются в виде изогнутых темных волокон, а по его краю — в виде арок, облаков, струй.

**Солнечная активность** — совокупность явлений, периодически возникающих в солнечной атмосфере и связанных с магнитными свойствами солнечной плазмы.

**Солнечная постоянная** — количество солнечной энергии, падающее за единицу времени на единичную площадку, расположенную перпендикулярно солнечным лучам за пределами земной атмосферы на среднем расстоянии Земли от Солнца, и составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ .

**Стратосфера** (лат. «stratum» — слой, «sphaira» — шар) — слой атмосферы, простирающийся выше тропосферы. Верхняя граница стратосферы расположена в среднем на высотах 50–55 км. Повышение температуры в тропосфере объясняется высокой концентрацией озона на высотах 20–25 км, где сильно поглощается ультрафиолетовое излучение Солнца.

**Тектоника** (греч. «tektonike» — строительное искусство) — геотектоника — раздел геологии, изучающий структу-

ру, движения, деформации и развитие какого-либо участка земной коры и верхней мантии Земли.

**Термосфера** (*греч.* «therme» — тепло, «sphaira» — шар) — лежит выше мезосферы — от 80–85 км до 600–800 км. Температура в ней быстро растет от 90 °С (на высоте около 90 км) до 1000–1200 °С на высоте 400 км. Выше 400 км температура с высотой почти не меняется. Этот слой называют *ионосферой*, так как в нем под действием солнечной радиации происходит ионизация молекул кислорода и азота. Наиболее ионизированные слои воздуха на высотах около 100 и 250 км. Они отражают к Земле радиоволны, что позволяет осуществлять радиосвязь. В ионосфере происходят полярные сияния.

**Тропосфера** (*греч.* «tropos» — поворот, «sphaira» — шар) — самая нижняя часть атмосферы, имеет различную толщину: от 16–18 км над экватором до 8–9 км над полюсом. В ней сосредоточено около 80% всей массы атмосферы и почти весь водяной пар. Воздух тропосферы получает тепло от нагретой Солнцем земной поверхности. Температура воздуха в тропосфере с высотой понижается в среднем 6 °С на 1 км из-за «парникового эффекта» и достигает –55 °С на ее самой верхней границе. Тропосфера — «кухня погоды». Именно здесь образуются облака, дождь, снег, град, ветер, возникают оптические явления — миражи, гало, радуга.

**Эндогенные процессы** (*греч.* «endo» — внутри + «genos» — род, происхождение) — геологические процессы, происходящие под действием внутренних сил Земли и протекающие главным образом внутри Земли, влияющие на формирование рельефа земной поверхности: тектонические движения, представляющие собой горизонтальные и вертикальные движения литосферных плит, сопровождающиеся возникновением складок и размеров в земной коре; землетрясения; вулканизм.

**Экзогенные процессы** (*греч.* «exo» — снаружи + генный) — происходящие на земной поверхности или на небольшой глубине процессы, влияющие на формирование рельефа земной поверхности. Они вызваны внешними по отношению к Земле силами и обусловлены главным образом энергией солнечной радиации, силой тяжести и жизнедеятельностью организмов. К ним относятся выветривание, действие ветра и перемещающая деятельность воды (включая ледники).

«Черная дыра» — конечная стадия эволюции массивных звезд с массой большей в 2,5–3 раза массы Солнца, при этом могучее поле тяготения сжавшейся звезды не выпускает за ее пределы никакого излучения.

### Образование химических элементов в недрах звезд

I	$\left. \begin{aligned} P + P &\rightarrow D + e^+ + \nu \\ D + P &\rightarrow {}^4\text{He} + p \\ {}^3\text{He} + {}^3\text{He} &\rightarrow {}^4\text{He} + 2p \end{aligned} \right\}$	$T \approx 1,6 \cdot 10^7 \text{ K}$ Звезда-карлик (Солнце)
II	$\left. \begin{aligned} {}^3\text{He} + {}^3\text{He} &\rightarrow {}^7\text{Be} + \gamma \\ {}^7\text{Be} + e^- &\rightarrow {}^7\text{Li} + \nu \\ {}^7\text{Be} + p &\rightarrow {}^8\text{B} + \gamma \\ {}^8\text{B} &\rightarrow {}^8\text{Be} + e^+ + \nu \end{aligned} \right\}$	$T \geq 1,6 \cdot 10^7 \text{ K}$ Тип Солнца с большей температурой и концентрацией ${}^4\text{He}$
III	$\left. \begin{aligned} {}^4\text{He} + {}^4\text{He} &\rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma \\ {}^8\text{Be} + {}^4\text{He} &\rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma \\ {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} &\rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma \end{aligned} \right\}$	$T \sim 10^8 \text{ K}$ Красный гигант, водород выгорел на $2/3$ , образуется плотное гелиевое ядро
IV	$\left. \begin{aligned} {}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} &\rightarrow {}^{24}\text{Mg} + \gamma \\ {}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} &\rightarrow {}^{23}\text{Na} + p \\ {}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} &\rightarrow {}^{20}\text{Ne} + {}^4\text{He} \end{aligned} \right\}$	$T \sim 10^9 \text{ K}$ Звезды-сверхгиганты. Основной продукт ядерных реакций — Si (большая энергия связи в нуклонах)
V	$\left. \begin{aligned} {}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} &\rightarrow {}^{32}\text{S} + \gamma \\ {}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} &\rightarrow {}^{31}\text{P} + p \\ {}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} &\rightarrow {}^{31}\text{S} + n \\ {}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} &\rightarrow {}^{28}\text{Si} + {}^4\text{He} \end{aligned} \right\}$	
VI	$\left. \begin{aligned} {}^{28}\text{Si} + {}^4\text{He} &\rightarrow {}^{32}\text{S} + \gamma \\ {}^{32}\text{S} + {}^4\text{He} &\rightarrow {}^{36}\text{Ar} + \gamma \\ \dots &\dots \dots \dots \\ \dots &\rightarrow {}^{56}\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni} \end{aligned} \right\}$	$T \sim 3 \cdot 10^9 \text{ K}$ Звезды-гиганты, реакции завершаются образованием железа и близких к нему элементов
VII	Реакция медленного захвата нейтронов	$T \sim 10^9 \text{ K}$ Звезды — красные гиганты, реакции завершаются образованием тяжелых элементов
VIII	$\left. \begin{aligned} {}^{56}\text{Fe} + {}^1_0n &\rightarrow {}^{57}\text{Fe} + \gamma \\ {}^{210}\text{Bi} &\rightarrow {}^4\text{He} + {}^{206}\text{Pb} \end{aligned} \right\}$	$T \gg 10^9 \text{ K}$
IX	Реакция быстрого захвата нейтронов	Взрыв сверхновой

### Задачи и упражнения

1. Какая энергия выделится при образовании 1 г гелия  ${}^4_2\text{He}$  из протонов и нейтронов?

*Решение.* Ядро атома гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов.

Масса покоя атома гелия  $M_{\text{He}} = 4,00337$  а.е.м., нейтрона  $m_n = 1,00897$  а.е.м., протона  $m_p = 1,00758$  а.е.м.

При образовании атома гелия дефект массы

$$\Delta m = 2(m_p + m_n) - M_{\text{He}} = 0,02923 \text{ а.е.м.}$$

Энергия, выделяющаяся при образовании одного атома гелия:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,44 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}} = 27,126 \text{ МэВ.}$$

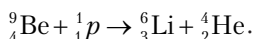
В 1 г гелия содержится атомов:

$$N = \frac{m}{A_{\text{He}}} N_A = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,504 \cdot 10^{23} \text{ (атомов).}$$

Следовательно, при образовании 1 г гелия выделится энергии:

$$E = \Delta E \cdot N = 40,797 \cdot 10^{28} \text{ МэВ} = 65,275 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

2. При соударении протона с ядром бериллия произошла ядерная реакция:



Найти энергию реакции.

*Решение.* Энергия ядерной реакции

$$\Delta E = (\sum M_i - \sum M_k) c^2,$$

где  $\sum M_i$  — сумма масс, вступивших в реакцию, а  $\sum M_k$  — сумма масс образовавшихся частиц.

В нашем случае

$$\Delta E = [(m_{\text{Be}} + m_p) - (m_{\text{Li}} + m_{\alpha})] c^2 = 8,6 \text{ МэВ.}$$

### Тестовые задания

1. Во что превратится Солнце в конце его эволюции?
  - а) «черную дыру»;
  - б) «белый карлик»;
  - в) «нейтронную звезду»;
  - г) пульсар;
  - д) останется таким же.

2. Из чего образовалась Солнечная система?
  - а) холодного газопылевого облака;
  - б) облака, захваченного Солнцем при движении вокруг центра Галактики;
  - в) облака, отделившегося от Солнца в процессе эволюции;
  - г) горячего газопылевого облака;
  - д) из двойной звезды с Солнцем после ее распада.
3. За 8 дней активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза. Чему равен период полураспада этого элемента?
  - а) 8 дней; б) 4 дня; в) 2 дня; г) 5 дней; д) 6 дней.
4. Каков примерно возраст Солнца?
  - а) несколько млн лет;
  - б) десятки млрд лет;
  - в) несколько десятков млн лет;
  - г) несколько десятков тысяч лет;
  - д) сотни млн лет.
5. Какие звезды превращаются в «черные дыры»?
  - а) все звезды;
  - б) такие как Солнце;
  - в) больше Солнца по массе в 2 раза;
  - г) больше Солнца по массе в 3 раза;
  - д) меньше Солнца.
6. Как определяют возраст звезд?
  - а) радиоактивными методами;
  - б) по скорости расходования запасов энергии;
  - в) изучению окаменелых остатков животных и растений;
  - г) спектрам звезд;
  - д) интенсивности излучения.
7. Что явилось предпосылкой возникновения первичного океана?
  - а) охлаждение атмосферы;
  - б) опускание суши;
  - в) появление подземных источников;
  - г) расплавление поверхности Земли;
  - д) дрейф континентальных плит Земли.
8. Когда началась геологическая история Земли?
  - а) свыше 6 млрд лет назад;
  - б) 4,6 млрд лет назад;

- в) 5 млрд лет назад;
- г) 3,8 млрд лет назад;
- д) 4 млн лет назад.

9. Какими числами оценивается наиболее вероятный возраст Земли?

- а) несколько миллионов или десятки миллионов лет;
- б) 4,5—5 млрд лет;
- в) несколько десятков и сотен тысяч лет;
- г) сотни миллионов лет;
- д) около 10 млрд лет.

10. Какая из сфер отсутствует у Земли?

- а) литосфера;
- б) гидросфера;
- в) атмосфера;
- г) биосфера;
- д) фотосфера;
- е) магнитосфера.

11. Для какого из приведенных ниже тел пока еще не использовался лабораторный метод оценки возраста по радиоактивному распаду?

- а) для Земли;
- б) для Марса;
- в) для Луны;
- г) для метеоритов;
- д) для всех.

12. Что не входит в раннюю историю Земли?

- а) фаза рождения;
- б) фаза расплавления;
- в) фаза первичной коры;
- г) геологическая фаза.

13. Кто предложил теорию фрагментации однородного вещества?

- а) Лаплас; б) Кант; в) Шмидт; г) Джинс; д) Бюффон.

14. Какие элементы образуются при звездном нуклеосинтезе?

- а) все элементы;
- б) только легкие;
- в) все элементы до железа;
- г) элементы после железа;
- д) элементы до углерода.

15. От какого параметра звезды зависит ее цвет?
  - а) массы;
  - б) размера;
  - в) светимости;
  - г) звездной величины;
  - д) температуры.
16. Какой элемент наиболее распространен в земной коре?
  - а) Al; б) Si; в) H; г) Mg; д) O.
17. Какие звезды живут дольше всех?
  - а) массивные;
  - б) средние по массе;
  - в) маленькие по массе;
  - г) больших размеров;
  - д) подобные Солнцу.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие причины приводят к фрагментации однородно распределенного вещества?
2. В чем заключается критерий Джинса в образовании галактик?
3. Чем подтверждается верность термоядерного источника солнечной энергии?
4. Объясните, почему судьба звезды оказалась в сильной зависимости от ее массы.
5. О чем говорит наличие тяжелых химических элементов в звездах?
6. Какие гипотезы происхождения планет вам известны? Какие закономерности движения планет солнечной системы они объясняют?
7. Какие общие особенности планет солнечной системы свидетельствуют об едином происхождении планет? Поясните распространенность химических элементов в солнечной системе.
8. На какие этапы разделяют эволюцию Земли?
9. Поясните, как сформировались атмосфера, гидросфера и биосфера Земли?
10. Какие солнечно-земные связи вы знаете?
11. Почему в результате первичного нуклеосинтеза не могли образоваться химические элементы, наблюдаемые в современной Вселенной?



12. Какие процессы происходят при звездном нуклеосинтезе?
13. Каков механизм образования ядер и атомов тяжелых элементов?
14. Подтверждается ли в лабораторных реакциях идея звездного нуклеосинтеза?
15. Как происходило образование ядер элементов, расположенных в таблице Менделеева после железа?
16. Можно ли считать Солнечную систему единственной планетной системой?
17. Может ли служить тектоническая активность критерием жизнеспособности планеты?
18. В чем проявляются тектонические процессы на Земле?
19. Где расположены континентальные плиты?
20. Почему среди планет земной группы только Земля является жизнеспособной планетой?
21. Какова природа земного магнетизма?

### Тематика рефератов

1. Происхождение и развитие галактик и звезд.
2. Модели происхождения Солнечной системы.
3. Современные проблемы астрофизики.
4. Проблемы происхождения и развития Земли.
5. Основные положения современной тектоники.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Дубнищева, Т. Я.* Концепции современного естествознания. — Новосибирск, 1997. — 830 с.
3. *Амбарцумян, В. А.* Загадки Вселенной. — М., 1987.
4. *Бакулин, П. И.* Курс общей астрономии / П. И. Бакулин, Э. В. Кононович, В. И. Мороз. — М., 1977.
5. *Дагаев, М. М.* Астрофизика / М. М. Дагаев, В. М. Чаругин. — М., 1988.
6. *Ефремов, Ю. Н.* В глубины Вселенной. — М., 1977.

## Глава 13

# КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

### 13.1. Отличие живого от неживого

Гармоничное взаимодействие всего сущего не предопределено предписанием некоего отчужденного от него высшего начала, но проистекает из того, что все живые существа являются частями иерархии родственных единств, составляющих космическую систему и повинуются они лишь внутренним велениям собственной природы.

*Чжуан-цзы (III в. до н.э.)*

Одним из наиболее трудных и в то же время актуальных и интересных в современном естествознании является вопрос о происхождении жизни.

Жизнь — одно из сложнейших, если не самое сложное явление природы. Для нее свойственны обмен веществ и самовоспроизводство, а особенности более высоких уровней ее организации обусловлены строением более низких уровней. Живые существа — это естественные информационные системы, т.е. системы, занимающиеся сами собой, а не в результате построения или составленной кем-то программы от информационной системы более высокого уровня в ходе естественной эволюции. **Жизнь** есть форма существования сложных, открытых систем, способных к самоорганизации и самовоспроизводству. Важнейшими веществами этих систем являются белки и нуклеиновые кислоты.

Строго научное разграничение живого и неживого встречает определенные трудности. Тем не менее можно отметить следующее.

Отличие живого от неживого заключается в нескольких фундаментальных направлениях: **вещественном, структурном и функциональном** планах его изучения. В **вещественном** плане в состав живого обязательно входят высокоупорядоченные макромолекулярные органические соединения, называемые биополимерами, — белки, нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). В **структурном** плане живое отличается от неживого клеточным строением. В **функциональном** плане для живых тел характерно воспроизводство самих себя, вернее, самовоспроизводство.

Живые тела отличаются от неживых также наличием обмена веществ, способностью к росту и развитию, активной регуляцией своего состава и функций, способностью к движению, раздражимостью, приспособленностью к среде и т.д. Однако имеются переходные формы от нежизни к жизни. Например, вирусы вне клеток другого организма не обладают ни одним из атрибутов живого, хотя у них есть наследственный аппарат. Они могут расти и размножаться лишь в клетке организма-хозяина, используя его ферментные системы.

### 13.2. Концепции происхождения жизни на Земле

Глубокие мысли всегда кажутся до того простыми, что нам представляется, будто мы сами додумались до них.

*А. Маре*

В современном естествознании существует пять основных концепций возникновения жизни: 1) креационизм — божественное сотворение живого; 2) концепция многократного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества; 3) концепция стационарного состояния, в соответствии с которой жизнь существовала всегда; 4) концепция панспермии — внеземного происхождения жизни; 5) концепция происхождения жизни на Земле в историческом прошлом в результате процессов, подчиняющихся естественно-научным законам.

**Первая концепция** является религиозной и к науке прямого отношения не имеет. Хотя к нему близка концепция, согласно которой жизнь создана высшим разумом, находящимся вне Вселенной. Основывается она

на отрицании возможности объяснить генезис жизни естественными причинами и направлена против концепции химической, предбиологической эволюции. В качестве основополагающего тезиса в данных концепциях рассматривается положение о том, что жизнь как на Земле, так и вообще где-либо во Вселенной не может возникнуть случайно. Жизнь представляет собой акт преднамеренного творения, что приводит к отождествлению современных космологических представлений с религиозными истинами, и для вечной, безграничной Вселенной характерно неизменное постоянство картин жизни. Изложенная в ней временная и иерархическая последовательность событий содержит исходное представление об эволюции: первый день — появление света, второй — звезд, третий — создание Земли, четвертый — Солнца и Луны, пятый — появление рыб в море и птиц в небе, шестой — создание человека и, наконец, седьмой день — день отдыха.

В пользу данной концепции авторы приводят следующие аргументы: 1) белки, нуклеиновые кислоты и другие биологические соединения с их весьма сложной структурой могут быть созданы только живым существом, поскольку системы такой сложности не могут возникнуть в результате взаимодействия простых веществ в первичном океане; 2) в естественно-научном объяснении происхождения жизни необходимо исходить из положения, что жизнь уже была закодирована в структуре атомов.

В конце XIX в. были распространены «теории», согласно которым жизнь многократно самопроизвольно возникает в болотах, гниющей массе и тому подобных местах. Именно там из неживой материи возникают живые организмы — личинки мухи и даже мыши. **Вторую концепцию** опроверг изучавший деятельность бактерий французский микробиолог XIX в. — Луи Пастер. В XIX в. многие ученые полагали, что бактерии и другие микроорганизмы в отличие от более развитых живых существ могут спонтанно возникать в любой питательной среде. Например, их легко обнаружить в прокипяченном мясном бульоне уже через несколько часов после того, как тот остыл. Но Луи Пастер убедительно доказал невозможность спонтанного зарождения микроорганизмов. **Третья концепция** стационарного состояния жизни из-за своей оригинальности и логических построений всегда имела немного сторонников.

К началу XX в. в науке господствовали две последние концепции. **Концепция панспермии**, согласно которой жизнь была занесена на Землю извне, опиралась на обнаружение при изучении метеоритов и комет «предшественников живого» — органических соединений, которые, возможно, сыграли роль «семян». Во второй половине XIX в. шведский ученый Сванте Аррениус выдвинул оригинальную гипотезу. По его мнению, жизнь возникла не на Земле, а была занесена на нее из космоса. Наша планета была «заражена» микроорганизмами, прибывшими из глубин Вселенной. Этот процесс Аррениус назвал панспермией. Гипотеза шведского ученого не получила поддержки его коллег. Никто не видел возможности для микроорганизмов длительно путешествовать в космическом пространстве, не погибая от губительных излучений. В свое время эту гипотезу обсуждали очень бурно. Его сторонниками были выдающиеся умы своего времени. Но были противники. Так, Опарин показал, что эта теория, строго говоря, ничего не дает. Во всяком случае, она не имеет никакого отношения к происхождению жизни, ибо даже если удастся доказать, что жизнь была занесена на нашу планету извне, то это не освобождает нас от необходимости объяснить, как же она возникла изначально. Теория панспермии позволяет разрешить лишь проблему происхождения земной жизни, одновременно увеличивая сложность основной проблемы во много раз.

В настоящее время возрождается старая идея панспермии. На международном симпозиуме «Поиски внеземной жизни», состоявшемся в Бостоне (США) в 1984 г., голландский ученый М. Гринберг сообщил, что в его экспериментах было показано, что в условиях вакуума и чрезвычайно низкой температуры, характерной для межзвездной среды, бактериальные споры могут противостоять радиации в течение нескольких тысяч лет. Этого, конечно, недостаточно, чтобы перенестись от звезды к звезде, но если «материнская» звезда проходит через пылевое облако, некоторые споры получают от его частиц дополнительную защиту и могут путешествовать миллионы лет.

Пятую концепцию естественного происхождения жизни на Земле большинство ученых считают наиболее научной, поэтому рассмотрим ее подробно.

### 13.3. Концепции естественного происхождения жизни на Земле

Тысячи путей ведут к заблуждению,  
к истине — только один.

*Ж.-Ж. Руссо*

**У концепции появления жизни на Земле** в историческом прошлом две точки зрения. Согласно *одной* происхождение жизни — результат случайного образования единичной «живой молекулы», в строении которой был заложен весь план дальнейшего развития живого. Согласно *другой* точке зрения происхождение жизни — результат закономерной эволюции материи.

Последняя концепция представляется наиболее научной и рассмотрим ее детально. Широко распространенной и экспериментально обоснованной является модель, получившая за рубежом название гипотезы Опарина — Холдейна — по имени ученых, выдвинувших сходные гипотезы, скорее всего, независимо друг от друга. Общность развиваемых учеными взглядов состоит в принятии за исходные тезисы утверждения о том, что все необходимые для возникновения жизни биологически значимые органические соединения могут образоваться в абиогенных условиях, т.е. без участия живого, лишь на основе физико-химических закономерностей превращения веществ. Большинство современных специалистов также убеждено, что возникновение жизни в условиях первичной Земли есть результат естественной эволюции материи. Для изучения научной проблемы происхождения жизни необходимы сведения о физико-химических условиях на ранней Земле. Такие данные связаны как с геологической эволюцией планеты, так и с эволюцией химических элементов Солнечной системы и солнечной активностью.

Из большого числа химических элементов для жизни необходимы только 16, а водород, углерод, кислород и азот составляют почти 99% живой материи. В вещественном плане для становления жизни нужен прежде всего углерод. Жизнь на Земле основана на этом элементе, хотя в принципе можно предположить существование жизни и на кремниевой основе. Углерод обладает уникальными свойствами, и наша жизнь называется углеродной, или органической. Четырехвалентность углерода приводит к огромному чис-

лу его соединений, которые изучает органическая химия. Углерод образует сложные молекулы, представляющие собой кольца и цепи, обеспечивающие разнообразие органических соединений. **Аминокислоты** — важный для жизни класс органических соединений. В живых организмах они используются для синтеза белков, растения могут синтезировать их из простых веществ, а в животные организмы часть их должна поступать с пищей, поэтому их называют незаменимыми. Из четырех нуклеотидов построены и другие крупные молекулы — нуклеиновые кислоты, тоже входящие в состав живой клетки. Кислород, водород и азот наряду с углеродом можно отнести к основам живого. Клетка состоит на 70% из кислорода, 17% — углерода, 10% — водорода, 3% — азота. Они принадлежат к наиболее устойчивым и распространенным на Земле химическим элементам, легко соединяются между собой, вступают в реакции и обладают малым атомным весом. Их простые соединения легко растворяются в воде. Органические вещества присутствовали на Земле при ее образовании. Они могли синтезировать- ся и на поверхности пылинок.

Современная теория происхождения жизни основана на идее о том, что биологические молекулы могли возникнуть в далеком геологическом прошлом неорганическим путем. Для возникновения жизни нужны определенные температуры, влажность, давление, уровень радиации, определенная направленность развития Вселенной и время. Земля подходит для зарождения жизни. Ее возраст около 5 млрд лет. Температура поверхности в начальный период была 4000—8000 °С, и по мере остывания Земли углерод и более тугоплавкие металлы конденсировались и образовали земную кору. Первичная атмосфера Земли на протяжении 2 млрд лет состояла, вероятно, главным образом из водяных паров,  $N_2$ ,  $CO_2$ , с небольшой примесью других газов ( $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ ) при почти полном отсутствии  $O_2$  (практически весь кислород, содержащийся в атмосфере в настоящее время, является продуктом фотосинтеза). Отсутствие в первоначальной атмосфере кислорода было необходимым условием возникновения жизни, так как органические вещества легче создаются в восстановительной среде. В отсутствие кислорода, который мог бы их разрушить, а также живых организмов, которые использовали бы их в качестве пищи, абиогенно образовавшиеся органические вещества накапливались в Мировом океане, возникшем по мере охлаждения поверхности Земли

вследствие конденсации водяных паров и выпадения осадков. В 1953 г. Миллер экспериментально установил, что при подводе энергии (например, в форме электрических зарядов, ультрафиолетового излучения, радиоактивного излучения и тепла) к газовой смеси, содержащей углерод, водород, кислород и азот, в восстановительной среде образуются все важные продукты для построения биовеществ: аминокислот, гидроокисей, сахаров, пуриновых и пиримидиновых оснований. С инициацией химических процессов на планете Земля около 4–4,5 млрд лет началась фаза химической эволюции. Основным результатом первой стадии химической эволюции стала интеграция простых атомов Н, С, N, Р, ... в относительно сложные органические молекулы, а молекул — во многие еще более сложные ценные молекулы. Важную роль в этих превращениях играли такие химические элементарные процессы, как гомогенный и гетерогенный катализ, автокатализ, бистабильность и колебания.

Следующим шагом было образование более крупных полимеров из малых органических мономеров, опять же без участия живых организмов. Видимо, на первичной Земле образование полимеров со случайной последовательностью аминокислот или нуклеотидов могло происходить при испарении воды в водоемах, оставшихся после отлива. Если полимер образовался, он способен влиять на образование других полимеров. Сложную химическую эволюцию обычно выражают следующей обобщенной схемой: атомы → простые соединения → простые биоорганические соединения → макромолекулы → организованные системы.

Следующим этапом после химической эволюции элементов являлась биохимическая эволюция. Жизнь как особая форма существования материи характеризуется двумя отличительными свойствами — самовоспроизводством и обменом веществ с окружающей средой. На свойствах саморепродукции и обмена веществ строятся все современные гипотезы возникновения жизни. Наиболее широко признанные гипотезы следующей биохимической эволюции жизни — это *коацерватная* и *генетическая*.

**Коацерватная гипотеза.** В 1924 г. советский академик А. И. Опарин впервые сформулировал основные положения концепции предбиологической эволюции и затем, опираясь на эксперименты Бунгенберга де Йонга, развил эти положения в коацерватной гипотезе происхождения



жизни в книге «Происхождение жизни». Основу гипотезы составляет утверждение, что начальные этапы биогенеза были связаны с формированием белковых структур. Первые белковые структуры (*протобионты*, по терминологии Опарина) появились в период, когда молекулы белков отграничивались от окружающей среды мембраной. Эти структуры могли возникнуть из первичного «бульона» благодаря коацервации — самопроизвольному разделению водного раствора полимеров на фазы с различной их концентрацией. Процесс коацервации приводил к образованию микроскопических капелек с высокой концентрацией полимеров. Часть этих капелек поглощали из среды низкомолекулярные соединения: аминокислоты, глюкозу, примитивные катализаторы. Взаимодействие молекулярного субстрата и катализаторов уже означало возникновение простейшего метаболизма внутри протобионтов. Схема образования коацерватной капли следующая: молекула белка в растворе → сближение молекул белка с потерей воды → образование коацерватной капли. А. И. Опарин предложил следующий перечень «свойств живого»: *метаболизм, способность к самовоспроизведению, мутабельность*.

Обладавшие метаболизмом капельки извлекали из окружающей среды новые соединения и увеличивались в объеме. Когда коацерваты достигали размера, максимально допустимого в данных физических условиях, они распадались на более мелкие капельки, например, под действием волн, как это происходит при встряхивании сосуда с эмульсией масла в воде. Мелкие капельки вновь продолжали расти и затем образовывать новые поколения коацерватов. Постепенное усложнение протобионтов осуществлялось отбором таких коацерватных капель, которые обладали преимуществом в лучшем использовании вещества и энергии среды. Отбор как основная причина совершенствования коацерватов до первичных живых существ — центральное положение в гипотезе Опарина.

**Генетическая гипотеза.** У английского биолога Д. Холдейна «живыми или полуживыми объектами» назывались большие молекулы, способные к созданию своих копий. Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот. Вещество обрело, тем самым, важнейшее

свойство самовоспроизведения и вступило в новую фазу эволюции — фазу самоорганизации через самовоспроизведения. Здесь большое значение имело образование молекулярного языка биополимеров. Элементарная биологическая система — это химический язык. Он имеет алфавит, состоящий из различных видов нуклеотидов и аминокислот, и позволяет выстраивать последовательности символов различной длины — единицы мутации, кодирования и рекомбинации. Возникали все более сложные репликативные системы, конкурировавшие друг с другом.

При этом вначале возникли нуклеиновые кислоты как матричная основа синтеза белков. Впервые эту идею выдвинул в 1929 г. Меллер. В конце XX в. было открыто интересное явление. Существует вирусный белок-фермент с научным названием «Q $\beta$ -репликаза». Его функция — строить молекулу РНК из отдельных нуклеотидов. (Нуклеотиды — это мономеры ДНК или РНК, играющие роль своеобразных букв при записи наследственной информации.) В их последовательности закодирован аминокислотный состав белков. Чтобы лучше понять суть работы фермента, представьте себе робота, который не умеет читать, но может, глядя на текст, составлять рядом точно такой же из отдельных кубиков — букв. А если не будет никакого исходного текста, что робот составит из букв? Решили проверить. Поместили вирусный фермент в жидкий раствор, где не было сложных молекул РНК, а присутствовали только отдельные нуклеотиды. И произошло чудо. Робот — фермент без каких-либо подсказок начал выдавать длинные осмысленные тексты, т.е. строить большие молекулы РНК, на основе которых можно синтезировать белки. Лауреат Нобелевской премии по химии Манфред Айген снова выдвинул гипотезу о самопроизвольном зарождении жизни, которая была поддержана многими учеными. Сценарий эволюции органического мира стал выглядеть так. Сначала под действием электрических разрядов молний в первичной земной атмосфере появились молекулы отдельных нуклеотидов и аминокислот, из которых синтезировались различные белки. В том числе случайным образом могла образоваться и Q $\beta$ -репликаза. А она уже из простейших нуклеотидов стала создавать сложные молекулы РНК. Способность нуклеиновых кислот служить матрицами при образовании комплементарных цепей (например, синтез иРНК

на ДНК) — наиболее убедительный аргумент в пользу представлений о ведущем значении в процессе биогенеза наследственного аппарата и, следовательно, в пользу генетической гипотезы происхождения жизни. Гены наследственности располагаются в ДНК и передача информации идет в направлении ДНК — РНК — белок. Изменение пути передачи информации РНК — белок — ДНК произошло в результате эволюции РНК. Поэтому можно сделать следующие выводы:

1. Детальный анализ механизмов воспроизведения нуклеиновых кислот и белков не дает никаких оснований для гипотезы о существовании каких-то сил или взаимодействий, присущих только явлениям жизни.

2. Каждая отдельная система, возникающая в результате мутаций и отбора, непредсказуема в отношении своей структуры; тем не менее неизбежным результатом является процесс эволюции — это закон. Появление мутации с селективным преимуществом соответствует неустойчивости. Поэтому оптимизирующий процесс эволюции в принципе неизбежен, хотя выбор конкретного пути не детерминирован.

3. Наконец, оказывается, что процесс возникновения жизни связан с появлением ряда свойств, причем все эти свойства поддаются однозначному физическому обоснованию. Предварительные условия для появления этих свойств, по-видимому, выполнялись шаг за шагом, так что «возникновение жизни», как и эволюцию видов, нельзя представить в виде однократного акта творения.

Возникновение **протоклеток** положило начало биологической эволюции вещества. После того как углеродистые соединения образовали «первичный бульон», могли уже организоваться **биополимеры** — белки и нуклеиновые кислоты, обладающие свойством производства себе подобных. Механизм естественного отбора действовал на самых ранних стадиях зарождения органических веществ — из множества образующихся веществ сохранялись устойчивые к дальнейшему усложнению. Как показывает синергетика, для возникновения жизни энергия имела не меньшее значение, чем вещество. Некоторые начальные стадии эволюции были связаны с возникновением механизмов, способных поглощать и трансформировать химическую энергию, как бы выталкивая систему в сильно неравновесные условия.

Таким образом, начало жизни на Земле положило появление нуклеиновых кислот, способных к воспроизводству белков. Однако до сих пор остаются неясными детали перехода от сложных органических веществ к простым живым организмам. Теория биохимической эволюции предлагает лишь общую схему. В соответствии с ней на границе между коарцеватами — сгустками органических веществ — могли выстраиваться молекулы сложных углеводов, что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коарцervатам стабильность. В результате включения в коарцervат молекулы, способной к самовоспроизведению, могла возникнуть примитивная клетка, способная к росту. Следующим шагом в организации живого должно было стать образование мембран, которые отграничивали смеси органических веществ от окружающей среды. С их появлением и зарождается клетка — «единица жизни», главное структурное отличие живого от неживого.

**Основные этапы биогенеза.** Процесс биогенеза включал три основных этапа: возникновение органических веществ, появление сложных полимеров (нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов), образование первичных живых организмов. **Клетка** — основная элементарная единица жизни, способная к размножению, в ней протекают все главные обменные процессы (биосинтез, энергетический обмен и др.). Поэтому возникновение клеточной организации означало появление подлинной жизни и начало биологической эволюции.

Все основные процессы, определяющие поведение живого организма, протекают в клетках. Тысячи химических реакций происходят одновременно для того, чтобы клетка могла получить необходимые питательные вещества, синтезировать специальные биомолекулы и удалить отходы. Огромное значение для биологических процессов в клетке имеют ферменты. Синтез белка осуществляется в клетке. Величина клеток — от микрометра до более одного метра. Клетки могут быть дифференцированными (нервными, мышечными и т.д.). Большинство из них обладают способностью восстанавливаться, но некоторые, например нейроны, — нет или почти нет.

Рассмотрим подробнее особенности эволюции на клеточном уровне организации жизни (табл. 13.1). Наибольшее различие существует не между растениями, грибами и животными, а между организмами, обладающими

Таблица 13.1

**Общая геохронологическая и стратиграфическая шкала Земли**

Эра	Период	Изотопные датировки, млн лет	
Архей		Более 3500	Зарождение жизни, появление прокариотов. Господство бактерий и сине-зеленых водорослей. Появление зеленых водорослей
Протерозой	Карелий	2500—100	Развитие низших растений
	Рифей	1650—50	Появление эукариотов, многоклеточных растений и животных
Венд		650 (690)—20	Появление кишечнополостных, членистоногих, иглокожих
Палеозой	Кембрий	570—20	Развитие беспозвоночных, появление высших растений
	Ордовик	490—15	Появление первых позвоночных — бесчелюстных
	Силур	435—10	Выход растений и беспозвоночных на сушу
	Девон	400—10	Господство рыб, возникновение насекомых и амфибий, появление лесов из папоротников и плаунов
	Карбон	345—10	Распространение лесов, расцвет амфибий, появление летающих насекомых, возникновение рептилий
	Пермь	280—10	Появление голосемянных, распространение рептилий
Мезозой	Триас	230—10	Распространение голосемянных, появление млекопитающих
	Юра	190 (195)—5	Господство рептилий на суше, в воде и воздухе. Возникновение покрытосемянных растений и птиц
	Мел	136—5	Развитие цветковых растений, расцвет насекомых, вымирание многих рептилий
Кайнозой	Палеоген	66—3	Расцвет млекопитающих и птиц
	Неоген	25—2	Возникновение современных семейств млекопитающих, формирование современной флоры
	Четвертичный	1,8	Развитие рода <i>Ното</i>

ядром (*эукариоты*) и не имеющими его (*прокариоты*). Последние представлены низшими организмами — бактериями и сине-зелеными водорослями (цианобактерии, или цианеи), все остальные организмы — эукариоты, которые сходны между собой по внутриклеточной организации, генетике, биохимии и метаболизму. Различие между прокариотами и эукариотами заключается еще и в том, что первые могут жить как в бескислородной (облигатные анаэробы), так и в среде с разным содержанием кислорода (факультативные анаэробы и аэробы), в то время как для эукариотов, за немногим исключением, обязательно присутствие кислорода. Эти различия имели существенное значение для понимания ранних стадий биологической эволюции. Сравнение прокариотов и эукариотов по потребности в кислороде приводит к заключению, что прокариоты возникли в период, когда содержание кислорода в среде изменилось. Ко времени же появления эукариотов концентрация кислорода была высокой и относительно постоянной. Первые фотосинтезирующие организмы появились около 3 млрд лет назад, а значительное количество данных об ископаемых эукариотах позволяет сказать, что их возраст составляет около 1,5 млрд лет. Можно предположить, что первая микрофлора и первая микрофауна появились 3,3—3,8 млрд лет назад.

Первыми микроорганизмами могли быть бактерии или примитивные водоросли. В дальнейшем важную роль начали играть трофические связи. Основанием возникшей трофической цепи служили автотрофные растения, которые производили молекулярные структурные единицы из воды и молекул газа под действием солнечного света. Они медленно изменяли состав атмосферы. Из неассимилирующихся организмов шанс на выживание имели лишь паразиты на протофлоре. Так, появился принцип гетеротрофии, под которым понимают любой организм (травоядный, плотоядный или всеядный), который питается другими организмами.

Возникновение содержащей кислород атмосферы, начавшееся 2 млрд лет назад, глубоко изменило условия существование жизни. Для живых существ той далекой эпохи кислород был высокотоксичным газом, который в результате процесса окисления мог привести к разрушению органических молекул. Мутация и отбор помогли преодолеть и эту смертельную угрозу: возникли живые организмы, снабженные сначала при-

митивными органами, а впоследствии жабрами и легкими, получили развитие высокоэффективные механизмы обмена веществ для атмосферы, содержащей кислород.

Собственно биологическая эволюция начинается с возникновения клеточной организации и в дальнейшем идет по пути совершенствования строения и функций клетки, образования многоклеточной организации, разделения животного на царства растений, животных, грибов с последующей их дифференциацией на виды.

Основные положения естественно-научной теории происхождения жизни следующие:

1. Органические вещества сформировались из неорганических под действием физических факторов среды.
2. Органические вещества взаимодействовали, образуя все более сложные вещества, в результате чего возникли ферменты и самовоспроизводящиеся системы — свободные гены.
3. Свободные гены соединялись с другими высокомолекулярными органическими веществами.
4. Вокруг них стали образовываться белково-липидные мембраны.
5. Возникли клетки.
6. Из автотрофных организмов развились гетеротрофные.

Вопрос о закономерном или случайном характере возникновения живых существ является самым трудным для принятия различных концепций происхождения жизни. В гипотезе Опарина жизнь рассматривается как закономерный результат эволюции материи во Вселенной. Альтернативные гипотезы происхождения, отрицающие это положение, постулируют либо predetermined (американский биофизик Кенъон), либо случайный характер возникновения первичных организмов.

Если группа атомов в присутствии источника энергии образует некую стабильную структуру, то она имеет тенденцию к сохранению структуры. Самая ранняя форма конкуренции состояла в отборе стабильных форм и отбрасывании нестабильных. В этом нет ничего таинственного.

Одна из главных причин кризиса в решении проблемы происхождения жизни — отсутствие четкой границы между тремя понятиями: жизнь, живое и часть живого. Причем очень трудно одновременно изучать структуру и функцию: когда изучается структура (физико-химическими методами), то исчезает функция, и наоборот.

Таким образом, можно считать что возраст самых древних организмов — клеток без ядер, но имеющих нити ДНК, похожих на бактерии и сине-зеленые водоросли, составляет около 3—3,5 млрд лет. Около 2 млрд лет тому назад в клетке появляется ядро. Одноклеточные организмы с ядром называются простейшими. Их 25—30 тыс. видов. Самые простые из них — амебы, инфузории с ресничками. Примерно 1 млрд лет тому назад появились первые многоклеточные организмы и произошел выбор растительного и животного образа жизни.

Таким образом, эмпирические факты и теоретические концепции науки достаточно убедительно показывают, что современному уровню научного знания соответствует абиогенный характер возникновения и развития жизни. В рамках этой концепции предбиологическая эволюция имеет три фазы: *первая* — фаза элементарных полимеров, когда происходит абиогенный синтез простейших органических соединений; *вторая* фаза — полимеризация, ведущая к образованию предшественников нынешних живых клеток; *третья* — биохимическая фаза, в которой совершается возникновение генетического кода, биосинтез закодированных белков и переход к биологической эволюции.

Основные этапы развития жизни на Земле представлены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

#### Основные этапы развития жизни на Земле

Реальная шкала времени	Относительная шкала времени	Этапы развития жизни
3,5—4 млрд л.н.	1 январь	Процессы, приведшие к образованию органических молекул
	1 февраль	Свидетельства существования первых бактерий
	1 март	Бактериальные колонии
3 млрд л.н.	1 апрель	Нитчатые фотосинтезирующие водоросли
	1 мая	Рост разнообразия бактерий
2,5 млрд л.н.	1 июня	Высокое разнообразие бактерий
2 млрд л.н.	1 июля	Развитие сложноорганизованных клеток
1,5 млрд л.н.	1 сентября	Первые клетки, характерные для живых и высших растений
1 млрд л.н.	1 октября	Рост разнообразия жизненных форм в морях, появление всех типов беспозвоночных



Окончание табл. 13.2

Реальная шкала времени	Относительная шкала времени	Этапы развития жизни
500 млн л.н.	1 ноября	Начало освоения суши, первые челюстноротые рыбы, развитие позвоночных
300 млн л.н.	1 декабря	Развитие млекопитающих, динозавры, амфибии
100 млн л.н.		Господство млекопитающих
11 млн л.н.	31 декабря 8 ч	Начало эволюции человека
5 млн л.н.	16 ч	Ископаемые останки людей
	23 ч 59 мин 58 с	Начало промышленной революции

### 13.4. Классификация живого и их систем

Клетка — естественная крупинка жизни,  
как атом — естественная крупинка  
неорганизованной материи.

*Тейяр де Шарден*

Рассмотрение явлений живой природы по уровням биологических структур даст возможность изучения возникновения и эволюции живых систем на Земле — от простейших и менее организованных систем к более сложным и высокоорганизованным. Первые классификации растений, наиболее известной из которых была система Карла Линнея, а также классификация животных Жоржа Бюффона носили в значительной мере искусственный характер, поскольку не учитывали происхождения и развития живых организмов. Тем не менее они способствовали объединению всего известного биологического знания, его анализу и исследованию причин и факторов происхождения и эволюции живых систем. Без такого исследования невозможно было бы, *во-первых*, перейти на новый уровень познания, когда объектами изучения биологов стали живые структуры сначала на клеточном, а затем на молекулярном уровне. *Во-вторых*, обобщение и систематизация знаний об отдельных видах и родах растений и животных требовали перехода от искусственных классификаций к естественным, где основой должен стать принцип генезиса, происхождения новых видов, а следовательно, разработана теория эволюции. *В-третьих*, именно описательная, эмпирическая биология послужила тем фундаментом, на основе ко-

торого сформировался целостный взгляд на многообразный, но в то же время единый мир живых систем.

Живое в настоящее время разделяют на онтогенетический, организменный и надорганизменный уровни.

Представление о структурных уровнях организации живых систем сформировалось под влиянием открытия клеточной теории строения живых тел. В середине прошлого века клетка рассматривалась как элементарная единица живой материи, наподобие атома неорганических тел. Исследование проблемы строения живого, изучаемого молекулярной биологией, в середине XX столетия подвело к совершению научной революции. Во второй половине XX в. были выяснены вещественный состав, структура клетки и процессы, происходящие в ней.

Каждая клетка содержит в середине плотное образование, названное **ядром**, которое плавает в «полужидкой» **цитоплазме**. Все они вместе заключены в **клеточную мембрану**. Клетка нужна для **аппарата воспроизводства**, который находится в ее ядре. Без клетки генетический аппарат не мог бы существовать. Основное вещество клетки — **белки**, молекулы которых обычно содержат несколько сот **аминокислот** и похожи на бусы или браслеты с брелочками, состоящими из главной и боковой цепей. У всех живых видов имеются свои особые белки, определяемые генетическим аппаратом.

Попадающие в организм белки расщепляются на аминокислоты, которые затем используются им для построения собственных белков. **Нуклеиновые кислоты** создают **ферменты**, управляющие реакциями. Хотя в состав белков человеческого организма входят 20 аминокислот, но совершенно обязательны для него только 9. Остальные, по-видимому, вырабатываются самим организмом. Характерная особенность аминокислот, содержащихся не только в человеческом организме, но и в других живых системах (животных, растениях и даже вирусах), состоит в том, что все они являются левовращающими плоскость поляризации изомерами, хотя в принципе существуют аминокислоты и правого вращения.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение механизмов воспроизводства и наследственности в надежде обнаружить в них то специфическое, что отличает живое от неживого. Наиболее важным открытием на этом пути было выделение из состава ядра клетки богатого фос-

фором вещества, обладающего свойствами кислоты и названного впоследствии **нуклеиновой кислотой**. В дальнейшем удалось выявить углеводный компонент этих кислот, в одном из которых оказалась Д-дезоксирибоза, а в другом Р-рибоза. Соответственно этому первый тип кислот стали называть **дезоксирибонуклеиновыми кислотами**, или сокращенно **ДНК**, а второй тип — **рибонуклеиновыми**, или кратко **РНК**.

Участки ДНК, существующие как функционально неделимые единицы — гены, кодируют структуру (аминокислотную последовательность) одного белка или рибонуклеиновой кислоты. Совокупность генов клетки или всего организма составляет **генотип**. В отличие от генотипа **геном** или **генофонд** представляет собой характеристику вида, а не отдельной особи. В 2001 г. был расшифрован геном человека. Длина генома человека (все ДНК в 46 хромосомах) достигает 2 м и включает 3 млрд нуклеотидных пар.

Роль ДНК в хранении и передаче наследственности была выяснена после того, как в 1944 г. американским микробиологам удалось доказать, что выделенная из пневмококков свободная ДНК обладает свойством передавать **генетическую информацию**.

**Комплементарность** — взаимное соответствие, обеспечивающее связь дополняющих друг друга структур (макромолекул, молекул, радикалов) и определяемое их химическими свойствами. Комплементарность возможна, «если поверхности молекул имеют комплементарные структуры, так что выступающая группа (или положительный заряд) на одной поверхности соответствуют полости (или отрицательному заряду) на другой. Иными словами, взаимодействующие молекулы должны подходить друг к другу, как ключ к замку» (Дж. Уотсон). Комплементарность цепей нуклеиновых кислот основана на взаимодействии входящих в их состав азотистых оснований. Так, только при расположении аденина (А) в одной цепи против тимина (Т) (или урацила — У) — в другой, а гуанина (Г) — против цитозина (Ц) в этих цепях между основаниями возникают водородные связи. Комплементарность — по-видимому, единственный и универсальный химический механизм матричного хранения и передачи генетической информации.

В 1953 г. Джеймсом Уотсоном и Френсисом Криком была предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о строении молекулы ДНК как материального но-

сителя информации. В 1960-е гг. французскими учеными Франсуа Жакобом и Жаком Моно была решена одна из важнейших проблем генной активности, раскрывающая фундаментальную особенность функционирования живой природы на молекулярном уровне. Они доказали, что по своей функциональной активности все гены разделяются на «регуляторные», кодирующие структуру регуляторного белка, и «структурные гены», кодирующие синтез ферментов.

Воспроизводство себе подобных и наследование признаков осуществляется с помощью наследственной информации, материальным носителем которой являются молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). ДНК состоит из двух цепей, идущих в противоположных направлениях и закрученных одна вокруг другой напоподобие электрических проводов. Напоминает винтовую лестницу. Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка, называют **геном**. Гены расположены в хромосомах (части ядер клеток). Было доказано, что основная функция генов состоит в кодировании синтеза белков. Механизм передачи информации от ДНК к морфологическим структурам предложил известный физик-теоретик Г. Гамов, указав, что для кодирования одной аминокислоты требуется сочетание из трех нуклеотидов ДНК.

Молекулярный уровень исследования позволил показать, что основным механизмом изменчивости и последующего отбора являются мутации, возникающие на молекулярно-генетическом уровне. **Мутация** — это частичное изменение структуры гена. Конечный эффект ее — изменение свойств белков, кодируемых мутантными генами. Появившийся в результате мутации признак не исчезает, а накапливается. Мутации вызываются радиацией, химическими соединениями, изменением температуры, наконец, могут быть просто случайными. Действие естественного отбора проявляется на уровне живого, целостного организма.

Поскольку минимальной самостоятельной живой системой можно считать клетку, постольку изучение онтогенетического уровня следует начать именно с клетки. В настоящее время различают три типа онтогенетического уровня организации живых систем, которые представляют собой три линии развития живого мира: 1) прокариоты — клетки, лишенные ядер; 2) эукариоты, появившиеся позднее, — клетки, содержащие ядра; 3) архебактерии — клетки

которых сходны, с одной стороны, с прокариотами, с другой — эукариотами. По-видимому, все эти три линии развития исходят из единой первичной минимальной живой системы, которую можно назвать протоклеткой. Структурный подход к анализу первичных живых систем на онтогенетическом уровне нуждается в дополнительном освещении функциональных особенностей их жизнедеятельности и обмена веществ.

Клетки образуют ткани, а несколько типов тканей формируют органы. Группы органов, связанные с решением каких-то общих задач, называют системами организма.

Онтогенетический уровень организации относится к отдельным живым организмам — **одноклеточным и многоклеточным**. В разных организмах число клеток существенно отличается. В соответствии с числом клеток все живые организмы разделяют на пять царств.

Первые живые организмы имели одиночные клетки, затем эволюция жизни усложнила структуру и число клеток увеличилось. *Одноклеточные* организмы, имеющие простое строение, называются **мономерами** (греч. «μονηρες» — простой), или бактериями. Одноклеточные организмы с более сложной структурой относят к царству водорослей, или проститов. Среди водорослей есть и простейшие *многоклеточные* организмы. К многоклеточным относят растения, грибы и животных. Живые организмы классифицируют в соответствии с их эволюционным родством, поэтому считается, что многоклеточные имели своими предками проститы, а те произошли от монер. Но три многоклеточных царства произошли от разных проститов. Каждая группа многоклеточных организмов — растений, животных и грибов — имеет свой план строения, приспособленный к своему образу жизни, а у каждого вида в процессе эволюции сложилась определенная разновидность этого достаточно гибкого плана. Почти каждый вид состоит из различающихся по строению, но в то же время кровно родственных групп индивидов. Вид представляет собой не простое собрание индивидов, а сложную систему группировок, соподчиненных и тесно связанных друг с другом.

Вот так выглядит очень упрощенная схема соподчинения систематических единиц, используемая для естественной классификации:

**ВИД** — основная структурная и классификационная (таксономическая) единица в систематике живых организмов. Вид обозначается в соответствии с бинарной номенклатурой.

РОД — основная надвидовая таксономическая единица категория (ранг) в систематике растений и животных, объединяет близкие по происхождению виды.

СЕМЕЙСТВО — таксономическая категория (ранг) в систематике растений и животных. В семейство (иногда сначала подсемейство) объединяют близкие роды.

ОТРЯД — таксономическая категория (ранг) в систематике животных. В отряд (иногда сначала подотряд) объединяют родственные семейства. В систематике растений отряду соответствует порядок.

КЛАСС (*лат.* «classis» — разряд, группа), одна из высших таксономических категорий (рангов) в систематике животных и растений. Вид объединяют родственные отряды (животных) или порядки (растений). Класс имеет общий план строения и общих предков, включает типы (животных) или отделы (растений).

ТИП — таксономическая категория (ранг) в систематике животных. В тип (иногда сначала подтип) объединяют близкие по происхождению классы. Все представители одного типа имеют единый план строения. Тип отражает основные ветви филогенетического дерева животных. Все животные относятся к 16 типам. В систематике растений типу соответствует отдел.

ПОДЦАРСТВО (одноклеточные, многоклеточные).

ЦАРСТВО (растения, животные, грибы, дробянки, вирусы) — высшая таксономическая категория (ранг). Со времен Аристотеля органический мир подразделяется на два царства — растения и животные, а согласно новейшей систематике — на пять царств.

НАДЦАРСТВО (безъядерные и ядерные).

ИМПЕРИЯ (доклеточные и клеточные).

Известный немецкий биолог Э. Геккель открыл биогенетический закон для организменного уровня классификации живого, согласно которому **онтогенез** в краткой форме повторяет **филогенез**, т.е. отдельный организм в своем индивидуальном развитии в сокращенной форме повторяет историю рода.

Надорганизменный уровень рассматривает организмы во взаимосвязи с окружающей средой и начинается с популяции. Популяционный уровень начинается с изучения взаимосвязи и взаимодействия между совокупностями особей одного вида, которые имеют единый генофонд и занимают единую

территорию. Такие совокупности, или, скорее, системы живых организмов составляют определенную популяцию. Очевидно, что популяционный уровень выходит за рамки отдельного организма, и поэтому его называют надорганизменным уровнем организации. **Популяция** представляет собой первый надорганизменный уровень организации живых существ, который хотя и тесно связан с их онтогенетическим и молекулярными уровнями, но качественно отличается от них по характеру взаимодействия составляющих элементов, ибо в этом взаимодействии они выступают как целостные общности организмов. По современным представлениям именно популяции служат элементарными единицами эволюции.

Второй надорганизменный уровень организации живого составляют различные системы популяций, которые называют **биоценозами**, или **сообществами**. Они являются более обширными объединениями живых существ и в значительно большей мере зависят от небиологических, или абиотических, факторов развития.

Третий надорганизменный уровень организации содержит в качестве элементов разные биоценозы, в еще большей степени характеризуется зависимостью от многочисленных земных и абиотических условий своего существования (географических, климатических, гидрологических, атмосферных и т.п.). Для его обозначения применяется термин **биогеоценоз**, или **экологическая система** (экосистем).

Четвертый надорганизменный уровень организации возникает из объединения самых разнообразных биогеоценозов и теперь называется **биосферой**.

Для характеристики **трофического** (пищевого) взаимодействия популяции и биоценозов существенное значение имеет общее правило, согласно которому чем длиннее и сложнее пищевые связи между организмами и популяциями, тем более жизнеспособной и устойчивой является живая система любого (надорганизменного) уровня. Отсюда становится ясным, что с биологической точки зрения на таком уровне решающее значение приобретает трофический характер взаимодействия между составляющими живую систему элементами.

Таким образом, на основе критерия масштабности выделяют следующие уровни организации живого (рис. 13.1):

**биосферный** — включающий всю совокупность живых организмов Земли вместе с окружающей их природной средой;

**уровень биогеоценозов**, состоящий из участков Земли с определенным составом живых и неживых компонентов, представляющих единый природный комплекс, экосистему;

**популяционно-видовой** — образуется свободно скрещивающимися между собой особями одного и того же вида;

**организменный и органно-тканевый** — отражают признаки отдельных особей, их строение, физиологию, поведение, а также строение и функции органов и тканей живых существ;

**клеточный и субклеточный** — отражают процессы специализации клеток, а также различные внутриклеточные включения;

**молекулярный** — составляет предмет молекулярной биологии, одной из важнейших проблем которой является изучение механизмов передачи генной информации и развитие генной инженерии и биотехнологии.

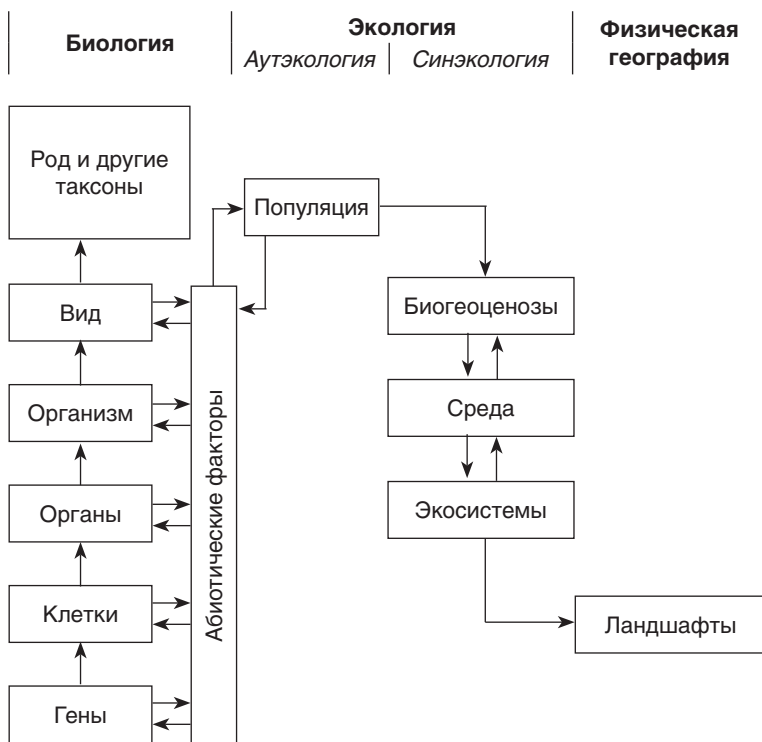


Рис. 13.1. Уровни организации живого — объекты изучения биологии, экологии и физической географии



## Выводы

1. Среди известных *гипотез происхождения жизни* наиболее распространены: креационизм, самопроизвольное возникновение, вечное существование, панспермии, биохимическим путем.

2. Для научного изучения происхождения жизни необходимы прежде всего данные о физико-химических условиях на ранней Земле. Такие данные связаны как с геологической эволюцией планеты, так и с эволюцией химических элементов Солнечной системы и солнечной активностью.

3. Из большого числа химических элементов для жизни необходимы только 16, а водород, углерод, кислород и азот составляют почти 99% живой материи. Уникальными свойствами обладает углерод, и наша жизнь называется углеродной, или органической. Четырехвалентность углерода приводит к огромному числу его соединений, которыми занимается органическая химия. Углерод образует сложные молекулы, представляющие собой кольца и цепи, обеспечивающие разнообразие органических соединений.

4. *Аминокислоты* — важный для жизни класс органических соединений. В живых организмах они используются для синтеза белков: растения могут синтезировать их из простых веществ, а в животные организмы некоторые из них должны поступать с пищей, поэтому их называют незаменимыми. Из четырех нуклеотидов построены и другие крупные молекулы — нуклеиновые кислоты, тоже входящие в состав живой клетки. *Нуклеиновые кислоты* представляют собой двухцепочечные молекулы.

5. Современные научные гипотезы происхождения жизни связаны с образованием в определенных условиях более сложноорганизованных молекул-коагулянтов, гелей коацерватов. У этих коллоидных образований, как считали Опарин и Холдейн, на поверхности могут происходить процессы, напоминающие метаболизм живых организмов. Коацерваты способны делиться на части, увеличиваться в размерах, поглощать более простые молекулы. Гипотеза Опарина — Холдейна проверялась на установке Миллера, где искровой разряд пропусклся через смесь метана, аммиака, водорода и воды, что имитировало условия первичной Земли. Были синтезированы простейшие аминокислоты. Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самопроизводящие

системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Чтоб мудро жизнь прожить, знать надобно немало,  
Два важных правила запомни для начала:  
Ты лучше голодай, чем что попало есть  
И лучше будь один, чем вместе с кем попало.

*О. Хайям*

### План семинара

1. Характерные особенности и отличительные признаки живого от неживого.
2. Основные концепции происхождения жизни на Земле.
3. Теория Опарина — Холдейна.
4. Концепция уровней биологических структур и организация живых систем.
5. Проблема существования жизни во Вселенной.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Анаэробные организмы** — организмы, живущие при отсутствии свободного кислорода (многие бактерии, черви, моллюски).

**Аэробные организмы** — большинство живых организмов, которые могут существовать только при наличии свободного молекулярного кислорода.

**Аминокислоты** — класс органических соединений, служащих основным элементом построения растительных и живых белков и поэтому играющих важную роль в жизни организмов.

**Вирусы** (лат. «virus» — яд) — возбудители инфекционных болезней растений, животных и человека, размножающиеся только внутри живых клеток.

**Абиотический** — неорганический или лишенный жизни.

**Абиогенез:** 1) образование органических веществ без участия живых организмов; 2) теория возникновения живых существ из неорганических веществ.

**Биоценоз** — сообщество живых организмов.

**Биосинтез белков** — синтез белков в живых клетках, всеобщее свойство, передающееся из поколения в поколение. Оно выражается формулой: ДНК — иРНК — белок.

**Гетеротрофные организмы** (греч. «гетерос» — другой, разный, «трофе» — питание) — это организмы, питающиеся готовыми органическими веществами. Они могут быть сапротрофами, питающимися органическими веществами мертвых организмов, и паразитами, питающимися готовыми органическими веществами живых организмов.

**ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота)** — сложное органическое соединение, являющееся материальным носителем наследственной информации.

**Ген** (греч. «genos» — происхождение) — материальный носитель генетической (наследственной) информации, способный к воспроизведению определенного признака или свойства и расположенный в определенном участке хромосомы.

**Жизнь** — форма существования сложных открытых систем, способных к самоорганизации и самовоспроизведению.

**Жизненный цикл** — совокупность фаз развития, пройдя которые организм достигает зрелости и становится способным дать начало следующему поколению. У животных различают простой цикл и сложный — с метаморфозом (майский жук: яйцо — личинка — куколка — имаго). У высших растений различают однолетний, двухлетний и многолетний жизненные циклы.

**Коацерватные капли, или коацерваты**, — сгустки, подобные водным растворам желатина. Образуются в концентрированных растворах белков и нуклеиновых кислот. Коацерваты способны адсорбировать различные вещества. Из раствора в них поступают химические соединения, которые преобразуются в результате реакций, проходящих в коацерватных каплях, и выделяются в окружающую среду.

**Белки** — высокомолекулярные органические вещества, состоящие из аминокислот и составляющие основу жизнедеятельности всех организмов.

**Нуклеиновые кислоты** — необходимая составная часть всех живых систем, которой принадлежит ведущая роль в биосинтезе белка и передаче наследственных признаков организма.

**Клетка** — элементарная живая система, основная структурная и функциональная единица организма. В каждой клетке выделяют ядро и цитоплазму, в которой располагаются и функционируют органоиды.

**Одноклеточные организмы** — организмы, тело которых состоит из одной клетки. Среди одноклеточных имеются организмы простые по строению (хлореллы, амёбы) и весьма сложные (инфузории).

**Прокариоты** (лат. «рго» — первичный + греч. «карюон» — ядро) — организмы, лишённые оформленного ядра (вирусы, бактерии, сине-зелёные водоросли).

**Фермент** — специфические протеины, играющие роль катализаторов в реакциях, протекающих в живых организмах.

**Эукариоты** (греч. «еи» — хорошо + «карюон» — ядро) — все организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделённое оболочкой от цитоплазмы.

### Тестовые задания

1. Когда в клетке впервые появилось ядро?
  - а) 4,5 млрд л.н.;
  - б) 3 млрд л.н.;
  - в) 5 млн л.н.;
  - г) 2 млрд л.н.;
  - д) сотни млн л.н.
2. Каким является возраст самых древних организмов — клеток без ядер?
  - а) 4,5 млрд л.н.;
  - б) 3 млрд л.н.;
  - в) 5 млн л.н.;
  - г) 2 млрд л.н.;
  - д) сотни млн л.н.
3. Какая эволюция предшествовала клеточному уровню развития жизни?
  - а) химическая;
  - б) физическая;
  - в) биологическая;
  - г) биохимическая;
  - д) органическая.
4. В чем отличие живого от неживого в структурном плане?
  - а) состоит из белков и нуклеиновых кислот;
  - б) имеет клеточное строение;
  - в) способно к самовоспроизводству;
  - г) наличие обмена веществ;
  - д) способно к росту и развитию.

5. В чем отличие живого от неживого в вещественном плане?

- а) живое состоит из белков;
- б) живое имеет клеточное строение;
- в) живое способно к самовоспроизводству;
- г) наличие обмена веществ;
- д) способность к росту и развитию.

6. Когда произошла дифференциация растительного и животного образа жизни?

- а) 4 млрд л.н.;
- б) 3 млрд л.н.;
- в) 2 млн л.н.;
- г) 1 млрд л.н.;
- д) 5 млн л.н.

7. Основная роль в хранении наследственности принадлежит:

- а) ДНК;
- б) РНК;
- в) ДНК и РНК;
- г) ДНК или РНК;
- д) белкам.

8. По данным науки жизнь на Земле возникла:

- а) более 7 млрд л.н.;
- б) 5 млрд лет назад;
- в) около 3 млрд л.н.;
- г) 1 млрд л.н.;
- д) 65 млн л.н.

9. Вирусы могут содержать:

- а) только ДНК;
- б) только РНК;
- в) ДНК и РНК;
- г) ДНК или РНК;
- д) ни одной из них.

10. Какой элемент преобладает в химической структуре клетки?

- а) кислород;
- б) углерод;
- в) водород;
- г) азот;
- д) кремний.

11. Какие элементы входили в состав органических соединений?
- а) С, N, H, O;
  - б) Fe, S, H, Ni;
  - в) Cl, Na, K, Si;
  - г) Mg, S, Mo, P;
  - д) все они.
12. Основной функцией ДНК в клетке является:
- а) энергетическая;
  - б) информативная;
  - в) каталитическая;
  - г) регуляторная;
  - д) организующая.
13. Какими свойствами обладали коацерваты?
- а) рост;
  - б) обмен веществ;
  - в) размножение;
  - г) оплодотворение;
  - д) деление.
14. Сколько аминокислот входит в состав человеческого организма?
- а) 100; б) 20; в) 11; г) 800; д) 9.
15. Какая структурная единица хранит информацию о синтезе определенной молекулы белка?
- а) молекула ДНК;
  - б) нуклеотид;
  - в) триплет;
  - г) молекула АТФ;
  - д) молекула РНК.
16. Какие первые органические вещества возникли по теории Опарина в водах первичного океана?
- а) белки;
  - б) жиры;
  - в) углеводы;
  - г) нуклеиновые кислоты;
  - д) фенолы;
  - е) гормоны.
17. Кто разработал современную концепцию естественного происхождения жизни?
- а) Дарвин;
  - б) Вернадский;

- в) Геккель;
  - г) Опарин;
  - д) Пастер.
18. Какой из нижеперечисленных признаков нельзя отнести к функциональной характеристике живого?
- а) состоит из белков и нуклеиновых кислот;
  - б) способность к клеточному делению;
  - в) способность к самовоспроизводству;
  - г) наличие обмена веществ;
  - д) способность к росту и развитию.
19. Какой тип размножения растений является филогенетически поздним?
- а) вегетативное размножение;
  - б) спорами;
  - в) самоопыление;
  - г) ветроопыление;
  - д) насекомопыление.
20. Какие признаки развития являются филогенетическими у животных?
- а) одноклеточная стадия;
  - б) дробление;
  - в) гастрюляция;
  - г) покровительственная окраска;
  - д) плавательные перепонки на пальцах.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие гипотезы происхождения живой материи вам известны? Дайте оценку гипотезе панспермии.
2. Какими признаками отличается живое от неживого? Какие аналогии между живой и неживой материей можно провести?
3. Охарактеризуйте теорию Опарина — Холдейна.
4. В чем состояли главные предположения Пастера относительно возникновения жизни?
5. Дайте определение жизни, исходя из разных позиций.
6. Охарактеризуйте физико-химические условия на ранней Земле до появления реакций фотосинтеза и свяжите их с существующими гипотезами происхождения жизни.
7. Как вы оцениваете вероятность наличия жизни во Вселенной?
8. Каким образом можно осуществлять поиск внеземных цивилизаций?

9. Что нужно, чтобы появилось и могло существовать живое вещество?

10. Можно ли отнести вирусы к живым организмам? Обоснуйте ответ.

11. Какую роль играют молекулы ДНК в передаче наследственности и как был расшифрован генетический код?

12. Назовите основные современные методы исследования биологических объектов на молекулярном уровне.

13. Какой метод позволил расшифровать молекулярную организацию живой клетки?

14. В чем заключается специфика методов прижизненного анализа биологических объектов?

15. Каково назначение белков в организме?

16. Чем определяется разнообразие белков?

17. Для чего служит система воспроизводства в живых организмах?

18. Какую функцию выполняет молекула ДНК?

19. Как осуществляется процесс воспроизведения информации, хранимой в ДНК?

20. Кто и когда раскрыл структуру носителя наследственности?

21. В чем заключается с позиции физики отличительная особенность органических соединений, порожденных жизнью?

22. Начиная с какого времени и за какой примерно период насыщенность атмосферы кислородом достигла современного уровня?

23. Каковы современные естественно-научные представления о сущности жизни?

24. Какое органическое соединение было впервые синтезировано из обычных химических элементов?

25. Что является материальными носителями биохимической реакции?

26. Назовите три этапа перехода от неживого к живому.

27. В чем заключается сущность системного подхода А. И. Опарина в объяснении происхождения жизни на Земле?

28. Каков механизм образования органических веществ?

29. Какими свойствами характеризовалась атмосфера ранней Земли?

30. Образование какого химического соединения предшествовало появлению носителей живых организмов?

31. В какой форме, характерной для самоорганизации вещества, произошел переход к простейшей клетке?



32. Благодаря каким основополагающим жизненным системам произошел переход от неживого к живому?
33. Что является предметом исследования генной инженерии?
34. Охарактеризуйте структуру молекулы ДНК.
35. Какой первый препарат был получен с помощью генной инженерии?
36. Назовите основные достижения генной инженерии.
37. Что означает утверждение: наследственный аппарат не стареет?
38. Чем характеризуется индивидуальная последовательность ДНК в геноме человека?
39. Можно ли с помощью анализа структуры генома провести идентификацию личности?
40. Что дает генная инженерия для криминалистики?

### Тематика рефератов

1. Проблема сущности живого и его отличия от неживой материи.
2. Особенность биологического уровня организации материи.
3. Эволюционная модель происхождения жизни: гипотеза Опарина — Холдейна.
4. Современные исследования проблемы происхождения жизни.
5. Естественные-научные модели происхождения жизни.
6. Основные проблемы генетики и роль воспроизводства в развитии живого.
7. Современный этап развития биологии.
8. Материалистическая теория эволюции Дарвина и современная генетика.
9. Современное представление о наследственности и изменчивости.
10. Важнейшие достижения биологии последних десятилетий.
11. Структурные уровни неживой и живой природы.
12. Современные представления о возникновении жизни на Земле.

### Литература

1. Яблоков, А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М. : Высшая школа. — С. 240—210.

2. *Степин, В. С.* Философская антропология и философия науки. — М. : Высшая школа, 1992.
3. *Савенков, В. Я.* Новые представления о возникновении жизни на Земле. — Киев : Высшая школа, 1969.
4. *Шредингер, Э.* Что такое жизнь с точки зрения физика. — М. : Атомиздат, 1972.
5. *Опарин, А. И.* Происхождение жизни. — М., 1954.
6. *Шкловский, И. С.* Вселенная, жизнь, разум. — М., 1977.

## Глава 14

# ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

### 14.1. Доказательства эволюции живого

Во все века жила, затаена,  
Надежда — вскрыть все таинства природы.

*В. Брюсов*

Понятие эволюции употребляется в разных смыслах, но большей частью отождествляется с развитием. В ходе изложения уже приходилось говорить о глобальной эволюции Вселенной, геологической эволюции и эволюции живой природы (рис. 14.1). Во всех этих случаях под **эволюцией** подразумевается процесс длительных, постоянных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся возникновением новых материальных систем, структур, форм и видов. Под эволюцией живого мира понимают процесс развития природы со времени возникновения жизни до настоящего времени. При этом менялись и возникали новые виды, появились все более сложные формы живых организмов, причем живое приспособлялось к изменениям окружающей среды. После возникновения одноклеточных ступень эволюции заключалась в образовании и прогрессивном развитии многоклеточного организма. Одной из важных предпосылок возникновения высокоразвитых форм жизни стало образование колоний клеток путем скопления клеток с ядрами (эукариотов) и распределения функций между ними. Возникновение примерно 0,6 млрд лет назад многоклеточных эукариотов привело к взрывоподобному увеличению числа высокоразвитых форм жизни. В течение сравнительно короткого геологического периода появились многие виды беспозвоночных и макроскопические водоросли. Чтобы произошел этот эволюционный ска-

чок, понадобились три шага: 1) развитие полового размножения; 2) открытие принципа гетеротрофии; 3) образование колоний клеток с распределением функций.

Всех многоклеточных разделяют на три царства: грибы (Fungi), растения (Melaphyta) и животные (Metazoa). Относительно эволюции грибов известно очень мало, так как палеонтологическая летопись их остается скудной. Два других царства намного богаче представлены ископаемыми остатками, дающими возможность довольно подробно восстановить ход их истории.

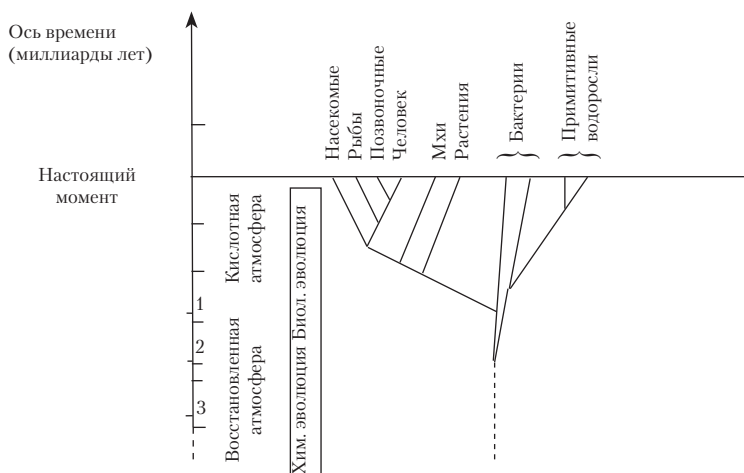


Рис. 14.1. Дерево эволюции жизни на Земле

В протерозойскую эру (около 1 млрд лет назад) эволюционный ствол древнейших эукариот разделился на несколько ветвей, от которых возникли многоклеточные растения (зеленые, бурые и красные водоросли), а также грибы. Большинство из первичных растений свободно плавало в морской воде (диатомовые, золотистые водоросли), а часть прикреплялась ко дну.

Существенным условием дальнейшей эволюции растений было образование почвенного субстрата на поверхности суши в результате взаимодействия бактерий и цианей с минеральными веществами и под влиянием климатических факторов. В конце силурийского периода почвообразовательные процессы подготовили возможность выхода

растений на сушу (440 млн лет назад). Среди растений, первыми освоившими сушу, были псилофиты.

Самые ранние следы животных обнаруживаются в конце докембрия (700 млн лет) (рис. 14.2). Предполагается, что первые животные произошли либо от общего ствола всех эукариот, либо от одной из групп древнейших водорослей.

Можно выделить четыре основных этапа эволюции: 1) биохимическая эволюция, начавшаяся примерно 3 млрд лет назад и закончившаяся к кембрию; 2) морфофизиологический прогресс, осуществляемый на протяжении 500 млн лет до настоящего времени; 3) эволюция психики, начавшаяся около 250 млн лет назад с момента появления насекомых; 4) эволюция сознания, связанная с возникновением и развитием человеческого общества на протяжении последних 500 тыс. лет.

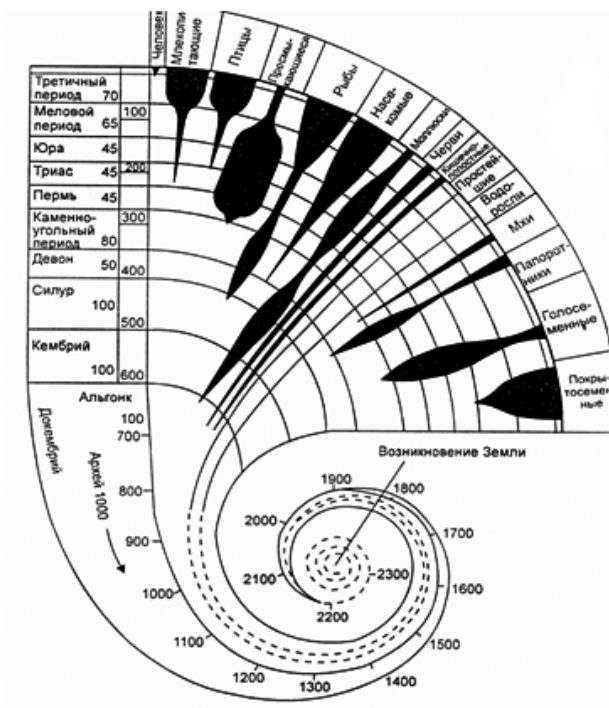


Рис. 14.2. Ход истории Земли и очередность появления на ней различных групп организмов, представленная в виде «спирали»

Основными доказательствами эволюции живой природы являются следующие:

**1. Доказательства единства происхождения органического мира:**

1. Все организмы, будь то вирусы, бактерии, растения, животные или грибы, имеют удивительно близкий элементарный химический состав.

2. У всех этих организмов особо важную роль в жизненных явлениях играют белки и нуклеиновые кислоты, которые построены всегда по единому принципу и из сходных компонентов. Высокая степень сходства обнаруживается не только в строении биологических молекул, но и в способе их функционирования. Принципы генетического кодирования, биосинтеза белков и нуклеиновых кислот едины для всего живого.

3. У подавляющего большинства организмов в качестве молекул — аккумуляторов энергии используется АТФ, одинаковы также механизмы расщепления сахаров и основной энергетический цикл клетки.

4. Большинство организмов имеют клеточное строение.

**2. Эмбриологические доказательства эволюции.**

Отечественные и зарубежные ученые обнаружили и глубоко изучили сходство начальных стадий эмбрионального развития животных. Все многоклеточные животные проходят в ходе индивидуального развития стадии бластулы и гастрюлы. С особой отчетливостью выступает сходство эмбриональных стадий в пределах отдельных типов или классов. Например, у всех наземных позвоночных, так же как и у рыб, обнаруживается закладка жаберных дуг, хотя эти образования не имеют функционального значения у взрослых организмов. Подобное сходство эмбриональных стадий объясняется единством происхождения всех живых организмов.

**3. Морфологические доказательства эволюции.**

Особую ценность для доказательства единства происхождения органического мира представляют формы, сочетающие в себе признаки нескольких крупных систематических единиц. Существование таких промежуточных форм указывает на то, что в прежние геологические эпохи жили организмы, являющиеся родоначальниками нескольких систематических групп. Наглядным примером этого может служить одноклеточный организм — эвглена зеленая.

Она одновременно имеет признаки, типичные для растений и для простейших животных.

Строение передних конечностей некоторых позвоночных, несмотря на выполнение этими органами совершенно разных функций, в принципиальных чертах сходно. Некоторые кости в скелете конечностей могут отсутствовать, другие — срастаться, относительные размеры костей могут меняться, но их гомология совершенно очевидна. Гомологичными называются такие органы, которые развиваются из одинаковых эмбриональных зачатков сходным образом.

Некоторые органы или их части не функционируют у взрослых животных и являются для них лишними — это так называемые рудиментарные органы, или рудименты. Наличие рудиментов, так же как и гомологичных органов, тоже свидетельство общности происхождения.

#### **4. Палеонтологические доказательства эволюции.**

Палеонтология указывает на причины эволюционных преобразований. В этом отношении интересна эволюция лошадей. Изменение климата на Земле повлекло за собой изменение конечностей лошади. Параллельно изменению конечностей происходило преобразование всего организма: увеличение размеров тела, изменение формы черепа и усложнение строения зубов, возникновение свойственного травоядным млекопитающим пищеварительного тракта и многое другое. В результате изменения внешних условий под влиянием естественного отбора произошло постепенное превращение мелких пятипалых всеядных животных в крупных травоядных. Богатейший палеонтологический материал — одно из наиболее убедительных доказательств эволюционного процесса, длящегося на нашей планете уже более 3 млрд лет.

#### **5. Биогеографические доказательства эволюции.**

Ярким свидетельством происшедших и происходящих эволюционных изменений является распространение животных и растений по поверхности нашей планеты. Сравнение животного и растительного мира разных зон дает богатейший научный материал для доказательства эволюционного процесса. Фауна и флора палеоарктической и неоарктической областей имеют много общего. Это объясняется тем, что в прошлом между названными областями существовал сухопутный мост — Берингов перешеек. Другие области имеют мало общих черт.

Таким образом, распределение видов животных и растений по поверхности планеты и их группировка в биогеографические зоны отражают процесс исторического развития Земли и эволюции живого.

#### **6. Островные фауна и флора.**

Для понимания эволюционного процесса интерес представляют флора и фауна островов. Состав их флоры и фауны полностью зависит от истории происхождения островов. Огромное количество разнообразных биогеографических фактов указывает на то, что особенности распределения живых существ на планете тесно связаны с преобразованием земной коры и с эволюционными изменениями видов.

### **14.2. Пути и причины эволюции живого**

Общаясь с дураком, не оберешься срама,  
Поэтому совет ты послушай Хайяма:  
Яд, мудрецом тебе предложенный прими,  
Из рук же дурака не принимай бальзама.

*О. Хайям*

Вопрос о путях и причинах разнообразия форм живой природы в различной формулировке вставал с глубокой древности — античности (Эмпедокл, Лукреций Кар). Чтобы понять, как происходит постепенное превращение одной структуры в другую, из одной формы в следующую, более совершенную, достаточно было наблюдения за стадиями развития зародыша, жизнью диких животных, а также осмысления успехов в примитивной селекционной деятельности.

Карл Линней описал более 8 тыс. растений, ввел терминологию и строго иерархический порядок описания видов. Хотя его классификация была основана на внешних признаках, деление на вид, класс, род практически сохранено и в настоящее время. Система К. Линнея — первая научная классификация живой природы, созданная в XVIII в. **За единицу классификации был принят вид** — совокупность особей, сходных по строению и дающих похожее на них потомство. Биогенетический закон, сформулированный в 1864 г. немецкими зоологами Ф. Мюллером и Э. Геккелем, гласит: каждая особь в своем индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида



(филогенез), т.е. онтогенез есть краткое повторение филогенеза.

**Закон необратимости эволюции** — сформулирован в 1893 г. бельгийским ученым Л. Долло на основе изучения большого палеонтологического материала. Согласно этому закону организм (популяция, вид) не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков: эволюция необратима.

Однако в качестве самостоятельно поставленного вопрос об эволюции живого выступил только Ж. Б. Ламарк, который впервые и ввел в науку термин «биология». Учение Ж. Б. Ламарка — первое эволюционное учение, созданное в начале XIX в., заключающееся в том, что все организмы в процессе исторического развития претерпевают прогрессивное усложнение — градации. При этом он установил связь между изменением организмов и окружающей средой. Он отверг идею постоянства видов, противопоставив ей представление об их изменяемости. Его учением утверждалось существование эволюции как исторического развития от простого к сложному. Впервые был поставлен вопрос о факторах эволюции. Ламарк совершенно правильно считал, что условия среды оказывают важное влияние на ход эволюционного процесса. Он был одним из первых, кто отметил чрезвычайную длительность развития жизни на Земле. Однако Ламарк допустил серьезные ошибки в понимании факторов эволюционного процесса, выводя их из якобы присущего всему живому стремления к совершенству. Это породило очень распространенные, но научно совершенно необоснованные представления о наследовании признаков, приобретаемых организмами под непосредственным воздействием среды. Эволюционное учение Ламарка не было достаточно доказательным и не получило широкого признания среди его современников.

Часто эволюцию представляют как прогрессивное и регрессивное. Под *биологическим прогрессом* следует понимать возрастание приспособленности организмов к окружающей среде, ведущее к увеличению численности и более широкому распространению вида. Эволюционные изменения, происходящие в некоторых видах, семействах, отрядах, не всегда могут быть признаны прогрессивными. В таких случаях говорят о биологическом регрессе. *Биологический регресс* — это снижение уровня приспособленности к усло-

виям обитания, уменьшение численности вида и площади видового ареала. Пути достижения биологического прогресса следующие:

1. *Ароморфоз* (морфологический прогресс) — возникновение в ходе эволюции признаков, которые существенно повышают уровень организации живых организмов. Ароморфоз дает большие преимущества в борьбе за существование, открывают возможности освоения новой, прежде недоступной среды обитания. В эволюции млекопитающих можно выделить несколько крупных ароморфозов: возникновение шерстного покрова, живорождение, вскармливание детенышей молоком, приобретение постоянной температуры тела, прогрессивное развитие легких, кровеносной системы и головного мозга. Формирование ароморфоза — длительный процесс, происходящий на основе наследственной изменчивости и естественного отбора. Морфофизиологический прогресс — магистральный путь эволюции органического мира.

2. *Идиоадаптация* — это приспособление живого мира к окружающей среде, открывающее перед организмами возможность прогрессивного развития без принципиальной перестройки их биологической организации.

3. *Общая дегенерация* — резкое упрощение организации, связанное с исчезновением целых систем, органов и функций. Очень часто дегенерация наблюдается при переходе видов к паразитическому образу существования. Несмотря на то что общая дегенерация приводит к значительному упрощению организации, виды, идущие по этому пути, могут увеличивать свою численность и ареал, т.е. двигаться по пути биологического прогресса.

### 14.3. Эволюционная теория Дарвина

Тот, кто предупреждает нас о бесплодных путях, оказывает не меньшую услугу, чем тот, кто указывает правильный путь.

*Гейне*

Исторически рассматривались различные пути и причины, лежащие в основе эволюции живого. К основным из них можно отнести следующие: 1) тренировка органов, как считал Ламарк; 2) борьба за существование и выживание

наиболее приспособленных (естественный отбор, по Дарвину); 3) способность к взаимопомощи; 4) влияние природных катастроф: кометы, изменение температуры и др.

Наиболее распространенной и принятой в науке считается эволюционная теория Дарвина. Рассмотрим ее более подробно.

Формирование теории эволюции, совершающейся посредством естественного отбора, связано с именем Ч. Дарвина. Вот уже более 100 лет эта теория находится в эпицентре борьбы разных типов идеологий и мировоззрений, исторический путь ее был не прост. Теория эволюции сформулирована Дарвином в 1859 г. Наибольший вклад Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить. В 1859 г. Дарвин опубликовал труд «Происхождение видов путем естественного отбора». Он предположил, что при интенсивной конкуренции внутри популяции любые изменения, благоприятные для выживания в данных условиях, повышают способность особей размножаться и оставлять потомство. Дарвиновская революция была справедливо названа величайшей из всех научных революций, поскольку она не просто привела к замене одной научной революции (теории неизменных видов) на другую, но потребовала полного изменения представления человека о природе и о себе. Более конкретно — она потребовала отказаться от некоторых наиболее широко распространенных и укоренившихся убеждений западного человека. В отличие от революций в физических науках (Коперник, Ньютон, Эйнштейн, Гейзенберг) дарвиновская революция подняла вопросы, касающиеся этики человека и его глубочайших убеждений. Новая парадигма Дарвина по своей сути представляет новое мировоззрение.

В теории эволюции Дарвина несколько научных компонентов. Во-первых, это представление об эволюции как реальности, что означает определение жизни как динамической структуры естественного мира, а не статической системы. Виды не только изменяются во времени, но и связаны друг с другом происхождением от общих предков. Этот компонент эволюционной теории обеспечивает логическую программу для систематики, исследований по сравнительной анатомии, эмбриологии, биогеографии и т.д. Эволюция рассматривается как постоянный процесс. Изменения видов — результат влияния естественного от-

бора на незначительные унаследованные отличия. Хотя существующие виды и обладают различными свойствами, считается, что эти свойства просто отражают исторический процесс дивергенции (расхождения), который уничтожил промежуточные формы или связующие виды. Считается, что с течением времени в результате постепенных малых изменений возникают новые формы, совершенно отличные от родительского вида. Положение о том, что виды произошли путем естественного отбора, Дарвин вывел, основываясь на пяти основных наблюдениях (фактах) и сделал три вывода:

1. Все виды обладают биологическим потенциалом к увеличению количества особей до больших популяций.

2. Однако популяции в природе демонстрируют относительное постоянство количества особей во времени.

3. Ресурсы, необходимые для существования видов, ограничены, поэтому количество особей в популяциях примерно постоянно во времени.

*Вывод 1.* Между представителями одного вида существует борьба за ресурсы, необходимые для выживания и размножения. Только небольшая часть особей выживает и дает потомство.

4. Не существует двух особей одного вида, которые обладали бы одними свойствами. Представители одного вида отличаются большой изменчивостью.

5. Изменчивость обусловлена в основном генетически, поэтому наследуется.

*Вывод 2.* Конкуренция между представителями одного вида зависит от уникальных наследственных свойств особей, обеспечивающих преимущества в борьбе за ресурсы для выживания и размножения. Такая неодинаковая способность к выживанию и есть естественный отбор.

*Вывод 3.* Накопление наиболее благоприятных свойств в результате естественного отбора приводит к постоянному изменению видов. Так происходит эволюция.

Опираясь на огромный фактический материал и практику селекционной работы по выведению новых сортов растений и пород животных, Ч. Дарвин сформулировал основные принципы своей эволюционной теории:

— **первый принцип** постулирует, что изменчивость является неотъемлемым свойством живого;

— **второй принцип** раскрывает внутренние противоречия в развитии живой природы и утверждает, что, с одной

стороны, все виды организмов имеют тенденцию к размножению в геометрической прогрессии, а с другой — выживает и достигает зрелости лишь небольшая часть потомства;

— **третий принцип** обычно называют *принципом естественного отбора*, который играет фундаментальную роль в теории эволюции не только Дарвина, но и всех теорий, появившихся позднее. Естественный отбор постоянно распространяет по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая неприспособленные, сохраняя и слагая устойчивые, работая неслышно и невидимо над усовершенствованием каждого органического существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими.

Теория Дарвина нуждалась в дальнейшей разработке и обосновании с учетом последующих достижений всех биологических дисциплин. О поддержке гипотезы Дарвина свидетельствуют данные различных наук. Палеонтология, которая занимается изучением ископаемых остатков, подтверждает факт прогрессивного возрастания сложности организмов. В самых древних породах встречаются организмы немногих типов, имеющих простое строение. Постепенно разнообразие и сложность растут. В соответствии с данными палеонтологии можно считать, что в протерозойскую геологическую эру (700 млн лет назад) появились бактерии, простейшие водоросли, примитивные морские организмы; в палеозойскую (365 млн лет назад) — наземные растения, пресмыкающиеся; в мезозойскую (185 млн лет назад) — млекопитающие, птицы, хвойные растения; в кайнозойскую (70 млн лет назад) — современные виды (см. табл. 15.1 в гл. 15).

Теория эволюции Дарвина наряду с классификацией Линнея и клеточной теорией знаменовала собой крупный прорыв в биологии.

## 14.4. Современная теория эволюции живого

Ведь очень часто торопливость дум  
На ложный путь заводит безрассудно,  
А там пристрастья связывают ум.

Данте

Современная теория эволюции живого отличается от дарвиновской по ряду важнейших пунктов:

— в настоящее время элементарной структурой, с которой начинается эволюция, считается популяция, а не отдельная особь или вид, который включает в свой состав несколько популяций;

— в качестве элементарного явления или процесса эволюции современная теория рассматривает устойчивое изменение генотипа популяции;

— шире и глубже истолковываются факторы и движущие силы эволюции, выделяя среди них факторы основные и не основные.

Ч. Дарвин и последующие теоретики к основным факторам эволюции относили изменчивость, наследственность и борьбу за существование. В настоящее время к ним добавляют множество других дополнительных, не основных факторов, которые тем не менее оказывают влияние на эволюционный процесс.

В современной теории процессы изменения и наследственности опираются на следующие три основных фактора эволюции:

1) важнейший — *мутационный процесс*, который исходит из признания того неоспоримого теперь положения, что основную массу эволюционного материала составляют различные формы мутаций, т.е. изменений наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызванных искусственными средствами;

2) *популяционные волны*, которые часто называют «волнами жизни». Они определяют количественные флуктуации, или отклонения от среднего значения численности организмов в популяции, а также области ее расположения (ареала). Причем наиболее подходящими для эволюции и возникновения новых видов оказываются популяции средних размеров;

3) *обособленность группы организмов*. Обособление и изоляция определенной группы организмов необходимы для того, чтобы она не могла скрещиваться с другими видами и тем самым передавать им и получать от них генетическую информацию.

К указанным основным факторам эволюции часто добавляют *частоту смены поколений в популяциях, темпы и характер мутационных процессов* и некоторые другие. Следует подчеркнуть, что все перечисленные основные и не основные факторы выступают не изолированно, а во взаимосвязи и взаимодействии друг с другом.

Механизм эволюционного процесса и его движущая сила заключаются в существовании естественного отбора, который является результатом взаимодействия популяций и окружающей их среды. **Естественный отбор** характеризуется как процесс выживания наиболее приспособленных и уничтожения неприспособленных организмов. Современная теория эволюции раскрывает конкретные типы механизмов естественного отбора. В живой природе наблюдаются сложные, комплексные типы отбора.

Формы естественного отбора приведены ниже.

При **движущей форме отбора** происходит отсев мутаций с одним значением среднего признака, которые заменяются мутациями с другим его значением. Эта форма отбора выявляется легче других. В итоге действия движущей формы отбора, например, возникает увеличение размеров потомков по сравнению с предками (в эволюционном ряду лошадиных от имевшего размеры с лисицу ископаемого фенакодуса до современных осла, зебры, лошади), другие формы могут уменьшиться в размерах.

**Стабилизирующий отбор** — наблюдается в том случае, если условия внешней среды длительное время остаются достаточно постоянными. В относительно неизменной среде преимуществом обладают типичные, хорошо приспособленные к ней особи со средним выражением признака, а отличающиеся от них мутанты погибают. Стабилизирующая форма отбора характерна и для человека.

**Дестабилизирующий отбор** — процесс обратный стабилизирующему отбору, преимущество получают мутации с более широкой нормой реакции.

**Разрывающий (дизруптивный отбор)** — эта форма отбора осуществляется в тех случаях, когда две или более генетически различные формы обладают преимуществом в разных условиях, например в разные сезоны года. Дизруптивный отбор благоприятствует более чем одному фенотипу и направлен против средних промежуточных форм. Он как бы разрывает популяцию по данному признаку на несколько групп, встречающихся на одной территории, и может при участии изоляции привести к разделению популяции на две и более.

Генетика привела к новым представлениям об эволюции, получившим название **неодарвинизма**, который можно определить как *теорию органической эволюции* путем естественного отбора признаков, детерминированных генетиче-

ски. Другое общепринятое название — *синтетическая*, или *общая, теория эволюции*. Механизм эволюции стал рассматриваться как состоящий из двух частей: случайные мутации на генетическом уровне и наследование наиболее удачных с точки зрения приспособления к окружающей среде мутаций, так как их носители выживают и оставляют потомство: мутация — появление нового признака — борьба за существование — естественный отбор.

**Синтетическая теория эволюции** представляет собой синтез основных эволюционных идей Дарвина, и прежде всего идеи естественного отбора, с новыми результатами биологических исследований в области наследственности и изменчивости. Если в теории Дарвина эволюция происходит в рамках вида, то в синтетической теории элементарной единицей эволюции служит популяция, поскольку именно в ее рамках происходят наследственные изменения генофонда. Другое существенное отличие синтетической эволюции от дарвиновской состоит в четком разграничении областей исследования микро- и макроэволюции.

**Микроэволюция** — совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов. Изменения, изучаемые в рамках микроэволюции, доступны непосредственному наблюдателю. В отличие от этого **макроэволюция** связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период времени, которые приводят к возникновению надвидовых форм организации живого. Макроэволюция, как и микроэволюция, происходит в конечном итоге под воздействием изменений в окружающей среде.

Любая новая крупная группа организмов, уровень которой выше уровня вида, как правило, возникает потому, что приобретает в ходе эволюции качественно новые особенности в своей структуре и организации, дающие ей коренное преимущество в борьбе за существование. Каждая группа организмов характеризуется определенным средним темпом эволюции. Чем быстрее совершается процесс приспособления группы к частным, конкретным условиям среды, тем скорее она достигает расцвета и соответственно гибели. Уничтожение целых групп живых организмов в ходе эволюции обусловлено естественным отбором других групп, более приспособленных к изменившимся условиям окружающей среды. Исчезнувшие в процессе эволюции от-



дельные организмы, виды и группы впоследствии никогда не восстанавливаются в прежней форме.

Согласно эволюционной теории Дарвина **целесообразность** есть неизбежный результат естественного отбора, в ходе которого устраняются организмы, не приспособленные к условиям своего существования, а получают право на жизнь и потомство организмы, обладающие определенными преимуществами перед ними. Чтобы правильно объяснить целесообразность, необходимо иметь в виду, что любая ее форма зависит от внешней среды, определяется ее условиями и состоянием.

Целесообразность носит относительный характер, так как ее мерой служит внешняя среда; то, что целесообразно в одних условиях, оказывается нецелесообразным и даже вредным в других. Эволюционная теория подтверждает существование прогресса в живой природе. В настоящее время общепризнанных критериев прогресса пока нет, хотя в последние годы его связывают со степенью упорядоченности и сложностью организации биологических систем и их адаптации к условиям окружающей среды.

## 14.5. Другие концепции эволюции живого

Живи — радуйся тому,  
что из твоих трудов под солнцем выйдет,  
поскольку из живущих никому  
не суждено грядущего увидеть.

*Из Екклезиаста*

Критика дарвинизма велась со дня его возникновения. Дело в том, что общий ход эволюции в чем-то непредсказуем, хотя непредсказуемость не абсолютная. Недостаточное осознание этого факта подчас направляло мысль на поиски радикальных решений. Одним не нравилось, что изменения, по Дарвину, могут идти во всех возможных направлениях, случайным образом, хаотично. Наиболее широко распространен и популярен **катастрофизм**, тяга к скачкообразным объяснениям эволюционного процесса. Главными чертами таких трактовок является отрицание естественного отбора и утверждение, что наиболее существенное эволюционное изменение есть результат случайных изменений. Адаптации видов возникают **скачкообразно** (скач-

кообразно; от лат. — прыгая, вприпрыжку). Новые уровни организмов возникают не в результате конкуренции их предков, а в условиях экологического вакуума, созданного массовым вымиранием. По уровню приспособленности новые группы организмов ничуть не совершеннее старых. Катастрофизм — представление о том, что смена этапов органического мира на Земле обусловлена катастрофами, уничтожающими животный и растительный мир. Одни авторы связывают катастрофы с геологическими процессами — оживлением вулканизма, приводящим к глобальному похолоданию и выбросу в атмосферу большого объема токсичных веществ, и геомагнитными процессами биосферы, сопряженными с повышением ионизирующей радиации, и наконец, с процессами горообразования и изменения климата. Другие авторы — сторонники космических причин массовых вымираний — чаще всего говорят о повышении радиации в результате вспышки сверхновых звезд и колебаний солнечной активности, или о бомбардировке Земли кометами и гигантскими астероидами, что ведет к изменению положения Солнечной системы относительно плоскости Галактики, или о прохождении крупного небесного тела через Солнечную систему.

Русский ученый П. А. Кропоткин в **концепции номогенеза** придерживался точки зрения, в соответствии с которой взаимопомощь является более важным фактором эволюции, чем борьба. Наблюдая перемещения больших масс животных в Восточной Сибири, спасающихся от стихийных бедствий, он выделил взаимопомощь и кооперацию в животном мире как факторы эволюции.

В **концепции коэволюции** биологическая эволюция рассматривается как результат взаимодействия организмов. Случайно образовавшиеся более сложные формы увеличивают разнообразие и, стало быть, устойчивость экосистем. Удивительная согласованность всех видов жизни есть следствие коэволюции.

В последние два десятилетия на основе учения о биосфере, экологии и концепции коэволюции возникла **гипотеза Гея — Земли**. Авторами ее являются английский химик Д. Лавок и американский микробиолог Л. Маргулис. Вначале была обнаружена химическая неравновесность атмосферы Земли, которая рассматривается как признак жизни. Главная идея гипотезы: планета Земля — гигантский живой организм. По Лавлоку, мы — обитатели и часть квазиживой

целостности, которая обладает способностью глобального гомеостаза и саморегуляции. Планета Земля живет собственной многообразной жизнью, проявлениями которой являются: геологические процессы; движение материков; извержения вулканов; изменение температуры; функционирование биосферы и ноосферы; атмосферные явления и др. Согласно мнению сторонников данной концепции, планета сама находит оптимальные формы своего существования и развития. Земля является саморегулирующейся системой, созданной биотой и окружающей средой, способной сохранять химический состав атмосферы и тем самым поддерживать благоприятное для жизни постоянство климата.

Биологи едины во мнении, что все широчайшее разнообразие животного мира, растений и других форм жизни на Земле связано с простыми организмами, появившимися около 3 млрд лет назад. Большинство важнейших эволюционных преобразований совершилось довольно внезапно, после появления многоклеточных, около 600 млн лет назад, т.е. в кембрийский период. Этот период разделен на три эры: *палеозой* (эру «древней жизни»), *мезозой* (эру «промежуточной жизни») и *кайнозой* (эру «новой жизни»). Все виды животных появились примерно за 60 млн лет кембрийского периода, причем неизвестно, когда возник каждый тип отдельно. Считается, что до 450 млн лет назад появились позвоночные животные — щитовые рыбы, морские ежи, морские звезды и др. Тем не менее при сравнении 3,5 млрд лет всей биоэволюции и около 570 млн лет, прошедших с начала кембрия, создается впечатление, что все типы животных возникли практически одновременно и внезапно. По выражению палеонтологов, это — кембрийский взрыв формообразования. После кембрия скорость появления новых классов резко упала. Хотя загадка кембрийского взрыва не разгадана, она свидетельствует о роли случайности в процессе эволюции.

Распространение животных и растений на земном шаре носит прерывистый характер. Тот факт, что встречаются сходные особи в удаленных частях суши, может быть объяснен тем, что когда-то распределение суши на Земле было иным. В 1912 г. Вегенер выдвинул гипотезу дрейфа континентов, которая с удовлетворением была принята биологами, поскольку объясняла странное распространение животных. Причинами дрейфа он считал конвекционные

течения в верхней мантии Земли, что весьма правдоподобно. Такая гипотеза позволяет объяснить непрерывное перемещения массивов суши и современное распространение некоторых редких животных. Дрейф континентов и перигляциальные оледенения влияли на эволюционный процесс, меняя условия жизни. Гипотеза суперконтинентального дрейфа открывает новый путь к пониманию не только геологической и климатической истории Земли, но и эволюции жизни на Земле. Это началось по гипотезе 200 млн лет назад. По сути, любая из биологических эволюционных теорий в явной или неявной форме затрагивает проблему того, что первично в эволюции. Важно при рассмотрении темы увидеть эволюционную теорию не как однозначный путь развития, предсказуемый и познанный наукой, а как спектр в различной степени обоснованных концепций.

Многие биологи считают, что двигателем вариаций на видовом или популяционном уровне являются изменения в геноме. С развитием молекулярной биологии на этот счет появилось немало экстравагантных гипотез. При таком подходе эволюция экосистемы и биосферы — следствие микроэволюционных процессов. Есть и другая, сравнительно малочисленная группа исследователей, которые, считая себя последователями В. И. Вернадского, соглашались с тем, что первопричиной эволюции являются экосистемные (биосферные) макропроцессы, влияющие на локальные условия среды. При этом создаются условия для отбора среди множества форм организмов, появляющихся в результате геномных коллизий. Отсюда вытекает, что экосистемы и биосфера управляют эволюционным процессом, порождая наиболее подходящие для себя популяции организмов.

Предметом острой моды в современной науке является концепция глобального эволюционизма. **Глобальный эволюционизм** — попытка естественно-научными и математическими средствами описать развитие Вселенной как целостной многоуровневой системы, создать формализованные модели ряда ключевых моментов эволюции (бифуркаций и катастроф, эволюционного компромисса как способа разрешения системных противоречий).

Основными тезисами глобального эволюционизма являются:

1. Наша Вселенная в силу связи всех ее составляющих есть некая единая система.

2. Ее эволюция — рост разнообразия форм материальной организации, ограничиваемый тенденцией к их единству и кооперативности, — это усложнение.

3. В процессе своей естественной эволюции Вселенная обретает с помощью человека способность не только познать саму себя, но и направлять свое развитие так, чтобы компенсировать или ослаблять дестабилизирующие факторы.

4. Главным из дестабилизирующих факторов пока является сам социум — возросшее могущество человека уже не позволяет рассматривать его в качестве независимой системы, вся история которой развивается на некоем фоне, называемом окружающей средой.

5. Ближайшая цель общественного развития — обеспечение коэволюции человека и биосферы, так как, если нагрузка на биосферу будет возрастать, она сделается непригодной для обитания, в том числе самого человека.

Для достижения сформулированной цели, согласно сторонникам глобального эволюционизма, следует избегать любых **бифуркаций**: пока мы находимся внутри некоего канала, берега которого ограничивают множество возможных вариантов дальнейшей эволюции, мы можем предвидеть последствия своих действий, но если эволюция выйдет на пересечение ряда каналов (в точку бифуркации), где выбор дальнейшего направления станет случайным, это станет невозможным. Нам следует сознательно держаться своего канала, поскольку мы обладаем огромными возможностями разрушить его берега. Без этого длительное совместное развитие биосферы и самого человека остается благим намерением. Избежать бифуркационных состояний и ужиться с природой можно лишь на пути (в канале) сознательного усложнения системы «природа — человек». Условием такого сознательного усложнения является совершенствование искусственного, распространение таких технологий, которые позволяют максимально полно реализовать «дремлющие в природе» возможности. Внутреннее богатство новых сконструированных сложных систем укрепит наш «канал» новыми блоками. Развитие с позиции глобального эволюционизма выглядит как совместное усложнение природного и социального.

## Выводы

1. Под *эволюцией*, т.е. развитием, понимается процесс длительных, постепенных, медленных изменений, которые в ко-

нечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся возникновением новых материальных систем, структур, форм и видов.

2. *Изменчивость* является неотъемлемым свойством живого. С одной стороны, все виды организмов имеют тенденцию к размножению в геометрической прогрессии, а с другой — выживает и достигнет зрелости лишь небольшая часть потомства. Естественный отбор постоянно распространяет по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая неприспособленные, сохраняя устойчивые, работая неслышно и невидимо, где бы и когда бы ни представился к тому случай, над усовершенствованием каждого органического существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими.

3. Новые виды могут возникать только в пределах одной популяции, поскольку вид — это группа скрещивающихся между собой организмов, которые не могут скрещиваться с представителями других таких групп. Изменение генных частот в каждой популяции составляет молекулярную основу эволюции, происходящей на основе естественного отбора.

4. *Естественный отбор не является единственным фактором эволюции*, хотя он очень важен. Основную массу эволюционного материала составляют различные формы *мутаций*, т.е. изменение наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызванных искусственными средствами. Мутации вносят новые гены в генофонд данной популяции, но сами мутации достаточно редки. Мутации как бы поставляют сырье, на которое действует естественный отбор.

5. Одним из основных факторов эволюции являются *популяционные волны*, которые часто называют «волнами жизни». Они определяют количественные флуктуации, или отклонения, от среднего значения численности организмов в популяции, а также области ее расположения (ареала). Другим основным фактором эволюции признается обособленность группы организмов, чтобы под влиянием локальных условий и давления отбора эволюционировать своим путем.

6. *Микроэволюция* — совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов. В отличие от этого *макроэволюция* связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период времени, которые приводят к возникновению надвидовых форм организации живого.

7. Целесообразность есть неизбежный результат естественного отбора, в ходе которого устраняются организмы, не приспособленные к условиям своего существования, и получают право на жизнь и потомство организмы, обладающие определенными преимуществами перед ними.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Общаясь с дураком, не оберешься срама,  
Поэтому совет ты послушай Хайяма:  
Яд, мудрецом тебе предложенный, прими,  
Из рук же дурака не принимай бальзама.

*О. Хайям*

### План семинара

1. Эволюция живого. Критерии и доказательства эволюции живого.
2. Основные положения теории Дарвина и значение ее для науки.
3. Основные факторы и движущие силы эволюции.
4. Современная теория органической эволюции.
5. Синтетическая теория эволюции.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Адаптация** (лат. «adaptatio» — приспособление) — приспособление функций и строения организмов к условиям существования.

**Ароморфоз** (греч. «aîro» — понимаю, «morphosis» — форма) — направленная прогрессивная форма эволюции, при которой происходят существенные изменения в организации и функционировании видов, способствующие лучшему их приспособлению к условиям среды.

**Анаэробные организмы** — организмы, живущие при отсутствии свободного кислорода (многие бактерии, черви, моллюски).

**Астробиология** — раздел биологии, изучающий проблемы существования жизни на других небесных телах во Вселенной.

**Астроботаника** — отрасль науки, занимающаяся изучением возможных свойств растений на других планетах.

**Аэробные организмы** (греч. «aer» — воздух + «bios» — жизнь) — большинство живых организмов, которые могут существовать только при наличии свободного молекулярного кислорода.

**Биосинтез** — образование органических веществ из более простых соединений, происходящее в организмах с помощью ферментов.

**Биофизика** — наука, изучающая физические явления в клетках, тканях, органах и в целом организме; их физические свойства, а также физико-химические основы процессов жизнедеятельности.

**Биохимия** (биологическая химия) — наука о химическом составе организмов и химических превращениях веществ при их жизнедеятельности.

**Генетический критерий вида** — набор хромосом, свойственный конкретному виду.

**Движущие силы эволюции** — факторы (причины) эволюции, согласно Ч. Дарвину, — это изменчивость, наследственность, борьба за существование и естественный отбор.

**Диссимиляция** (лат. «dissimilatio» — расподобление) — распад в организме сложных веществ на простые, сопровождающийся освобождением энергии. В единстве с ассимиляцией характеризует обмен веществ — метаболизм.

**Естественный отбор** — особый механизм отбора в природе, приводящий к избирательному уничтожению организмов, оказавшихся не приспособленными к условиям окружающей среды.

**Изменчивость** — разнообразие признаков и свойств у особей и групп особой любой степени родства.

**Клонирование** — искусственное выращивание нового организма из соматической клетки, т.е. создание генетически тождественного существа. Любая клетка взрослого организма, так называемая соматическая клетка, несет полный набор хромосом. Половые же клетки имеют только половину хромосом. При зачатии такие половинки — отцовская и материнская — соединяются и образуют новый организм. Клонированная клетка содержит двойной набор генов материнского организма.

**Критерий вида** — совокупность признаков, отличающих данный вид от другого.



**Ламаркизм** — учение, разработанное Ж. Б. Ламарком и основанное на изначальной целесообразной реакции организмов на изменение условий среды.

**Макроэволюция** — эволюционные преобразования за длительный исторический период, приводящие к возникновению новых надвидовых форм организации живого.

**Метаболизм** (греч. «metabole» — перемена) — обмен веществ, совокупность процессов ассимиляции и диссимиляции в организме.

**Морфологический критерий вида** (морфология от греч. «morphē» — форма, «logos» — учение) — это совокупность внешних признаков организма.

**Микроэволюция** — совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций в сравнительно небольшой период времени.

**Мутация** (лат. «mutatio» — изменение, перемена) — внезапное изменение наследственных структур, вызванное естественным или искусственным путем.

**Онтогенез** (греч. «ontos» — сущее + генезис) — индивидуальное развитие организмов, охватывающее все изменения от зарождения до смерти.

**Процесс** (лат. «processus» — продвижение) — последовательная смена состояний, тесная связь следующих друг за другом стадий развития, представляющая непрерывное, единое движение. Например, процесс развития растений, процесс выветривания и т.п.

**Селекция** (лат. «selectio» — выбор, отбор) — выведение новых и улучшение существующих сортов растений, пород животных путем применения научных методов отбора.

**Споры** (греч. «spora» — сеяние, посев, семя) — специализированные клетки бактерий, грибов и растений, служащие для размножения и рассеивания.

**Фенотип** — совокупность внешних и внутренних признаков организма.

**Филогенез** (греч. «phyle» — племя + генезис) — историческое развитие организмов различных типов, классов, отрядов.

**Эколого-географический критерий вида** — определяет ареал его обитания.

### Тестовые задания

1. Заслуга Дарвина перед наукой:
  - а) создание первого эволюционного учения;

- б) открытие явления наследственной изменчивости у организмов;
  - в) разработка теории естественного отбора;
  - г) описание новых видов организмов и их классификация;
  - д) введение в научную практику термина «эволюция».
2. Что в современной теории является элементарной структурой, с которой начинается эволюция живого?
- а) индивид;
  - б) вид;
  - в) популяция;
  - г) особь;
  - д) биоценоз;
  - е) клетка.
3. Что у Дарвина является элементарной структурой, с которой начинается эволюция?
- а) индивид;
  - б) вид;
  - в) популяция;
  - г) особь;
  - д) биоценоз;
  - е) клетка.
4. Что называют онтогенезом?
- а) образование гамет;
  - б) разрастание популяции;
  - в) развитие особи от рождения до смерти;
  - г) способность организмов изменять свои признаки;
  - д) ни одна из них.
5. Кто первым предложил цельную теорию эволюции?
- а) Карл Линней;
  - б) Жан Батист Ламарк;
  - в) Алексей Северцев;
  - г) Чарльз Дарвин;
  - д) Лукреций Кар.
6. Какое из положений не отличает теорию Дарвина от современной?
- а) элементарной структурой эволюции является популяция;
  - б) элементарное явление эволюции состоит в устойчивом изменении генотипа популяции;

- в) эволюция состоит из микроэволюции и макроэволюции;
  - г) основой эволюции является естественный отбор;
  - д) нет такого положения.
7. Как называется цикл развития организма от зиготы до отмирания?
- а) филогенез;
  - б) онтогенез;
  - в) ароморфоз;
  - г) метаморфоз;
  - д) жизненный цикл.
8. Какая из теорий не относится к эволюции живого?
- а) теория Дарвина;
  - б) нейтрализма;
  - в) катастрофизма;
  - г) номогенеза;
  - д) коэволюции;
  - е) «Большого Взрыва».
9. Какие изменения в строении животных являются крупным ароморфозом?
- а) многоклеточность;
  - б) легочное дыхание;
  - в) форма тела;
  - г) теплокровность;
  - д) двойное дыхание.
10. Какие изменения в строении растений можно отнести к крупным ароморфозам?
- а) многоклеточность;
  - б) наличие побега;
  - в) наличие цветка;
  - г) наличие плода;
  - д) ветроопыление;
  - е) насекомоядность.
11. Заслуга Ламарка перед наукой:
- а) создание первого эволюционного учения;
  - б) выдвижение идеи о внутреннем стремлении организмов к самосовершенствованию;
  - в) разработка системы классификации организмов;
  - г) описание новых видов организмов;
  - д) разработка учения о корреляции органов.

12. Ч. Дарвин объяснял эволюцию живого тем, что...
  - а) эволюция каждого вида предопределена богом;
  - б) изменчивость организма создает им преимущества в борьбе за существование;
  - в) каждый вид имеет врожденный план собственной эволюции;
  - г) воздействие внешней среды вызывает адекватные приспособления у видов;
  - д) информация об эволюции была заложена в живое вещество, попавшее на Землю.
13. Микроэволюция — это процесс образования новых:
  - а) видов;
  - б) подвидов;
  - в) географических рас;
  - г) родов и семейств;
  - д) классов и типов.
14. Макроэволюция — это процесс образования новых:
  - а) видов;
  - б) подвидов;
  - в) географических рас;
  - г) родов, семейств, классов, типов;
  - д) ни одно из них.
15. Направляющим фактором эволюции является:
  - а) наследственность организмов;
  - б) изменчивость организмов;
  - в) популяционные волны;
  - г) естественный отбор;
  - д) борьба за существование.
16. Какой процесс, происходящий в популяции, приводит к образованию новых видов?
  - а) мутации;
  - б) стабилизирующий отбор;
  - в) движущий отбор;
  - г) модификационная изменчивость;
  - д) изоляция.
17. Заслуга К. Линнея перед наукой:
  - а) создание первой теории происхождения видов;
  - б) классификация органов на основе их родства;
  - в) описание новых видов и введение бинарной номенклатуры;

- г) формирование движущих сил эволюции;
- д) создание искусственной системы растений.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Чем отличается молекулярная структура живых систем от неживых?
2. Какую роль играют молекулы ДНК в передаче наследственности и как был расшифрован генетический код?
3. Какие основные способы питания существуют в живой природе?
4. Какой уровень организации называется популяционным и чем он отличается от онтогенетического?
5. В чем состоит разница между биоценозами и биогеоценозами?
6. Какое воздействие сложность трофических связей оказывает на устойчивость и жизнеспособность живых систем?
7. Сформулируйте основные принципы учения Ч. Дарвина об эволюции.
8. В чем заключается главный недостаток его теории?
9. Чем отличается синтетическая теория эволюции от дарвиновской?
10. Перечислите основные факторы и движущие силы эволюции.
11. Каков механизм генетической эволюции?
12. Как объясняет эволюционная теория целесообразность в природе?
13. С чем связан биологический прогресс?
14. Чем отличается макроэволюция от микроэволюции?
15. Какая связь имеется между случайностью и необходимостью в живой природе?
16. Поясните закон Геккеля: «Онтогенез повторяет филогенез».
17. Что является предметом изучения биологии?
18. Какие основные признаки учитывались в первых схемах классификации растений и животных?
19. В чем заключается сущность материалистической теории эволюции Дарвина?
20. Какую роль играет наследственность в развитии живой природы?
21. Как влияет изменчивость на живые организмы?
22. Приведите примеры действия естественного отбора в современном животном мире.

23. В чем проявляется синтез классического дарвинизма с новейшими достижениями генетики?

24. Назовите один из определяющих факторов направленной биологической эволюции.

### Тематика рефератов

1. Три механизма эволюции в науке.
2. Наука как эволюционный процесс.
3. Самоорганизация в живой и неживой природе.
4. Эволюционные теории Ж. Б. Ламарка и Ч. Дарвина.
5. Концепции эволюции окружающего мира.

### Литература

1. Яблоков, А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М., 2004. — 310 с.
2. Гусейханов, М. К. Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
3. Кузнецов, В. И. Естествознание / В. И. Кузнецов, Г. М. Идлис, В. Н. Гутина. — М., 1996. — Гл. XIX, XVII.
4. Тимирязев, К. А. Чарльз Дарвин и его учение // Собр. соч. — Т. IV.
5. Поппер, К. Логика и рост научного знания. — М., 1983.

## Глава 15

# КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

### 15.1. Человек как предмет естественно-научного познания

Прекрасным создал этот мир Господь.  
Дал разум людям, но понятия не дал,  
Чтоб человек, свою земную плоть преодолев,  
Его дела изведаль.

*Из Екклезиаста*

Проблема антропогенеза — возникновения человека — представляет большой научный интерес и вызывает жаркие споры среди ученых. Причина этому, с одной стороны, — огромное методологическое значение материалистического решения вопроса о происхождении человека, а с другой — возможность проследить, как закономерности органической эволюции, действующие на уровне биологической формы движения материи, уступают место иным, связанным с возникновением социальной формы движения материи. Социальные факторы антропогенеза (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление) играют важнейшую роль в эволюции человека, что позволяет говорить об антропосоциогенезе. Это означает, что становление социальной формы движения не отменило действия биологических законов, а лишь изменило их проявление.

Человек как предмет естественно-научного познания может рассматриваться в трех аспектах: 1) происхождение; 2) соотношение в нем естественного и гуманитарного; 3) изучение специфики человека методами естественно-научного познания. Первое направление, традиционно называемое антропологией, изучает: когда, от кого и как произошел человек и чем он отличается от животных; второе

направление — социобиология — изучает генетическую основу человеческой деятельности и соотношение физиологического и психического в человеке; к третьему направлению относится изучение естественно-научным путем мозга человека, его сознания, души и т.п.

Рассмотрим первое направление. Как и в вопросе происхождения Вселенной и жизни, существует представление о божественном творении человека: «И сказал Бог: сотворим человека по образу нашему... И сотворил Бог человека по образу своему».

Во многих первобытных племенах были распространены представления о том, что их предки произошли от животных и даже растений (тотемы). В античности высказывались мысли о естественном происхождении людей из ила (Анаксимандр). Тогда же заговорили о сходстве человека и обезьяны (Ганнон из Карфагена).

В настоящее время в связи с ажиотажем вокруг НЛО в моду вошли версии о происхождении человека от внеземных существ, посещавших Землю, или даже от скрещивания космических пришельцев с обезьянами. Но в науке с XIX в. господствует вытекающая из теории эволюции Дарвина концепция происхождения человека от единых высокоразвитых предков современных обезьян, и она получила в XX в. генетическое подтверждение, поскольку из всех животных по генетическому аппарату ближе всего к человеку оказались шимпанзе.

Проблема возникновения человека ныне рассматривается как проблема возникновения видовой специфичности человека. Под критериями отличия человека от обезьяны понимается фундаментальное свойство, в котором отразилась бы специфичность человеческого общества.

## 15.2. Сходство и отличия человека от животных

Человек не ангел и не животное,  
и несчастье его в том, что чем больше он  
стремится уподобиться ангелу, тем больше  
превращается в животное.

*Б. Паскаль*

Для изучения проблемы антропогенеза необходимо уточнить, какое место занимает человек в структуре жи-



вого (табл. 15.1). С биологической точки зрения человек относится к классу млекопитающих, относящихся к отряду приматов и виду *homo sapiens*. Отсюда основные сходства и отличия человека от животных.

Таблица 15.1

### Место человека в структуре живого

Раздел	Наименование	Основные характеристики
Тип	Хордовые	В эмбриональном развитии хорда; жаберные щели в полости глотки; нервная трубка на спинной стороне; двусторонняя симметрия тела
Подтип	Позвоночные	Позвоночный столб; сердце на брюшной стороне тела; две пары свободных конечностей; формирование черепа и челюстного аппарата; 5 отделов головного мозга.
Класс	Млекопитающие	Теплопроводность; развитие молочных желез; наличие волос на поверхности тела; потовые и сальные железы кожи; наличие диафрагмы; 5 отделов позвоночника; 4-камерное сердце
Подкласс	Плацентарные	Развитие детеныша внутри матки и питание его через плаценту
Отряд	Приматы	Расположение глаз в одной плоскости (объемное зрение); конечность хватательного типа (один палец противопоставлен четырем); ногти; одна пара сосков, хорошо развитые ключицы; рождение обычно одного детеныша; замена молочных зубов
Подотряд	Высшие	Развитые лобные доли головного мозга; плоские ногти; редукция хвостового отдела позвоночника; наличие рудиментов (аппендикса и др.); 4 основные группы крови; развитие мимической мускулатуры; слабо развитая обонятельная зона; большое число извилин коры больших полушарий
Семейство	Номо	Люди вымершие (австралопитек, питекантроп, синантроп, неандерталец)
Вид	<i>Homo sapiens</i>	Прямохождение; мощная мускулатура нижних конечностей; сводчатая стопа; подвижная кисть руки; позвоночник с 4 изгибами; широкий таз, расположенный под углом 60° к горизонтали; крупные кости мозгового и мелкие лицевого черепа, плечевой сустав, обеспечивающий движение до 180°; ограниченная плодовитость (вид с самой медленной сменой поколений); плоская грудная клетка; большой палец нижних конечностей приблизился к остальным и принял на себя функцию опоры

Сходство человека с животными определяется, *во-первых*, вещественным составом, строением и поведением организмов. Человек состоит из тех же белков и нуклеиновых кислот, что и животное, и многие структуры и функции нашего организма такие же, как и у животных. Чем выше на эволюционной шкале стоит животное, тем больше его сходство с человеком. *Во-вторых*, человеческий зародыш в своем развитии проходит те же стадии, которые прошла эволюция животного. И *в-третьих*, у человека имеются рудиментарные органы, которые выполняли важные функции у животных и сохранились у человека, хотя сейчас не нужны ему (например, аппендикс, копчик и др.).

Появление в процессе эмбрионального развития человека хорды, жаберных щелей в полости глотки, дорсальной полый нервной трубки, двусторонней симметрии в строении тела определяют принадлежность человека к типу хордовых. Развитие позвоночного столба, сердца на брюшной стороне тела, наличие двух пар конечностей — к типу позвоночных. Теплокровность, развитие молочных желез, наличие волос на поверхности тела свидетельствуют о принадлежности человека к классу млекопитающих. Развитие детеныша внутри тела матери и питание плода через плаценту определяют принадлежность человека к подклассу плацентарных. Множество более частных признаков четко определяют положение человека в системе отряда приматов.

Однако и отличия от животных фундаментальны. К ним прежде всего относится **разум**. Самые высшие животные не обладают способностью к понятийному мышлению, т.е. к формированию отвлеченных, абстрактных представлений о предметах, в которых обобщены основные свойства конкретных вещей. Мышление животных, если о таковом можно говорить, всегда конкретно; мышление человека может быть абстрактным, отвлеченным, обобщающим, понятийным, логичным. Благодаря способности к понятийному мышлению человек сознает, что он делает, и понимает мир. Вторым главным отличием является то, что человек обладает **речью**. У животных может быть очень развитая система общения с помощью сигналов, но только у человека есть *вторая сигнальная система* — общение с помощью слов. В естествознании предполагается, что речь произошла из звуков, произносимых при работе, которые потом стали общими в процессе совместного труда. Таким же путем в процессе общественного труда постепенно мог воз-

никнуть разум. **Способность к труду** — еще одно фундаментальное отличие человека от животных. Только человек способен изготавливать, творить **орудия труда**. С этим связаны утверждения, что животные приспосабливаются к окружающей среде, а человек преобразует ее и что в конечном счете труд создал человека. Со способностью к труду соотносятся еще два отличительных признака человека: **прямохождение**, которое освободило его руки, и, как следствие, **развитие руки**, особенно большого пальца на ней. Наконец, еще два характерных признака человека, повлиявших на развитие культуры, — **использование огня и захоронение трупов**.

Таким образом, главные отличия человека от животных: **понятийное мышление, речь, труд** — стали теми факторами, которые предопределили обособление человека от природы.

### 15.3. Концепция появления человека на Земле. Антропология

В этом замкнутом круге — крути и не крути —  
Не удастся конца и начала найти.  
Наша роль в этом мире — прийти и уйти.  
Кто нам скажет о цели, о смысле пути?

О. Хайям

Проблему происхождения человека и определение специфики его строения и эволюции (табл. 15.2) изучает антропология (*греч.* «антропос» — человек). Бурное развитие эта наука получила во второй половине XIX в. после создания теории эволюции Ч. Дарвина.

Э. Геккель выдвинул гипотезу о существовании в прошлом промежуточного между обезьяной и человеком вида, который он назвал питекантропом (*букв.* «Обезьяночеловек»). Он предположил, что не современные обезьяны были предками человека, а дриопитеки, существовавшие на Земле около 70 млн лет назад. От них одна линия эволюции пошла к шимпанзе и гориллам, а другая — к человеку. Современные человекообразные обезьяны — шимпанзе, гориллы, орангутанги, гиббоны — представляют формы, около 10–15 млн лет назад уклонившиеся от линии развития, общей с чело-

Таблица 15.2

## Основные стадии эволюции человека

Признаки	Австралопитек	Человек умелый	Древнейшие люди, питекантроп, синантроп	Древнейшие люди, неандерталец	Новые люди (кроманьонец, современный человек)
Возраст	5 млн	2–3 млн	2 млн – 200 тыс.	150–40 тыс.	40–15 тыс.
Внешний вид	Масса до 50 кг, рост до 170 см, руки свободны, прямохождение	Фаланги пальцев сплющены, первый палец стопы не отведен в сторону	Рост около 160 см, массивный костяк, положение тела — полусогнутое	Рост 155–165 см, коренные люди, ходили несколько согнувшись	Рост около 180 см, физический тип современного человека
Объем мозга, см <sup>3</sup>	550–650	750	700–1200	до 1400	около 1600
Череп	Массивные челюсти, небольшие резцы и клыки	Зубы человеческого типа	Кости черепа массивные, лоб покаты, надбровные валики выражены	Скошенный лоб и затылок, большой надглазничный валик, подбородочный выступ слабо развит	Мозговой череп преобладает над лицевым, сплошной надглазничный валик отсутствует, подбородочный выступ хорошо развит
Орудия труда	Систематическое использование естественных предметов	Изготовление примитивных орудий труда	Изготовление хорошо выделанных орудий труда	Изготовление разнообразных каменных орудий труда	Изготовление сложных орудий труда и механизмов
Образ жизни	Стадность, охота, собирательство	Кооперирование во время и групповая защита	Общественный образ жизни, поддержание огня, примитивная речь	Коллективная деятельность, забота о ближнем, продвинутая речь	Настоящая речь, абстрактное мышление, развитие сельскохозяйственного и промышленного производства, техники, науки, искусства

веком. 20 млн лет назад под влиянием похолодания джунгли отступили и одной из ветвей дриопитеков пришлось спуститься с деревьев и перейти к прямохождению.

Это подтверждается тем, что в предгорьях Гималаев в Индии, Пакистане, Юго-Восточной Африке, на Ближнем Востоке были найдены останки ископаемой крупной обезьяны — рамапитека, по строению зубов оказавшейся промежуточной формой между современными человекообразными обезьянами и человеком. Впоследствии было определено, что рамапитеки жили около 14—8 млн лет назад. В то время, как показывают палеоклиматические данные, на Земле стало немного холоднее и на месте прежде необъятных тропических лесов стали возникать саванны. Именно тогда рамапитеки «вышли из леса» и стали приспосабливаться к жизни на открытом пространстве. Можно только догадываться, что послужило причиной этой экологической перестройки: возможно, поиски пищи, которой стало меньше в джунглях, или желание избежать нападения каких-то сильных хищников. На открытом пространстве потребовалась физическая перестройка организма обезьяны: преимущество получали те особи, которые могли дольше продержаться на двух ногах — в выпрямленном положении. В высокой траве для высматривания добычи и врагов такое положение тела, несомненно, более выгодно. И какие-то рамапитеки встали на ноги. Они представляли большую и достаточно многочисленную группу видов. В период около 10—8 млн лет назад немногие виды их должны были сделать следующий шаг, начав использовать орудия труда не от случая к случаю, а регулярно и постоянно. Возможно, что именно это обстоятельство послужило причиной возникновения новой формы человекообразных существ — австралопитеков.

Находки, сделанные главным образом в Южной Африке, ныне позволяют представить облик существ, находившихся в основании развития линии приматов, приведшей к возникновению рода человеческого.

В 1960 г. английский археолог Лики открыл в Восточной Африке «Человека умелого», возраст которого порядка 2 млн лет, а объем мозга 670 см<sup>3</sup>. Позже на озере Рудольф в Кении были найдены останки существ того же типа возрастом 5,5 млн лет. Наличие изготовленных орудий труда позволило сделать заключение о существовании большего его возраста. В науке укрепились мнение, что в Восточной Африке разошлись эволюционные линии человека и шимпан-

зе. В этом районе имеются выходы урановых пород и существует повышенная радиация. Радиация, как доказано генетикой, вызывает мутации. Поэтому здесь эволюционные изменения могли протекать более быстрыми темпами. Возникший вид, физически более слабый, чем окружение, чтобы выжить, должен был начать изготавливать орудия, вести общественный образ жизни и развивать разум. «Человека умелого» относят к австралопитекам (*букв.* «южная обезьяна»), останки которого впервые найдены в Африке в 1924 г. Объем мозга австралопитека не превышал объема мозга человекообразных обезьян, но мозг был подготовлен к созданию орудий труда.

По предложению Э. Геккеля питекантропом были названы останки, обнаруженные в 1891 г. на острове Ява. Существа, жившие 0,5 млн лет назад, имели рост более 150 см, объем мозга примерно  $900 \text{ см}^3$ , использовали ножи, сверла, скребки, ручные рубила. В 20-е гг. XX в. в Китае был найден синантроп («китайский человек») с близким к питекантропу объемом мозга. Речь у него отсутствовала, но он использовал огонь и сосуды.

В 1856 г. в долине Неандерталь в Германии обнаружили останки существа, жившего 150–40 тыс. лет назад, названного неандертальцем. Объем мозга у него был близок к объему мозга современного человека. У неандертальцев был покатый лоб с надбровными дугами, низкая черепная коробка; а жил он в пещерах, охотясь на мамонтов. У неандертальцев впервые были обнаружены захоронения трупов.

Наконец, в пещере Кро-Маньон во Франции в 1868 г. были найдены останки существа, близкого по облику и объему черепа (до  $1600 \text{ см}^3$ ) к современному человеку, имевшего рост 180 см и жившего 40–15 тыс. лет назад. Это и есть «Человек разумный». В ту же эпоху появились расовые различия. У изолированных групп складывались особые признаки (светлая кожа у отдельных представителей групп и т.п.).

Стадии становления человека не являются последовательной цепью переходов из одной в другую (рис. 15.1). Имеются свидетельства, что некоторые из этих стадий существовали одновременно. Это установлено для человека умелого и питекантропа, неантропа и палеоантропа. Каждая стадия была представлена одновременно несколькими формами. Расы человека — формы вида человека разумного, которые выделялись при приспособлении кроманьонцев к различным при-

родно-климатическим условиям земного шара. Человечество в настоящее время представлено одним видом — *homo sapiens*. Однако этот вид неоднороден. Он состоит из трех больших и множества малых и переходных рас: *экваториальная* (австрало-негроидная), *евразийская* (европеоидная), *азиатско-американская* (монголоидная). Не все расовые отличия имеют приспособительный характер; многие из них возникли, вероятно, в силу коррелятивной изменчивости, а также в результате дрейфа генов. Наличие переходных рас между большими расами также свидетельствует об их относительности.

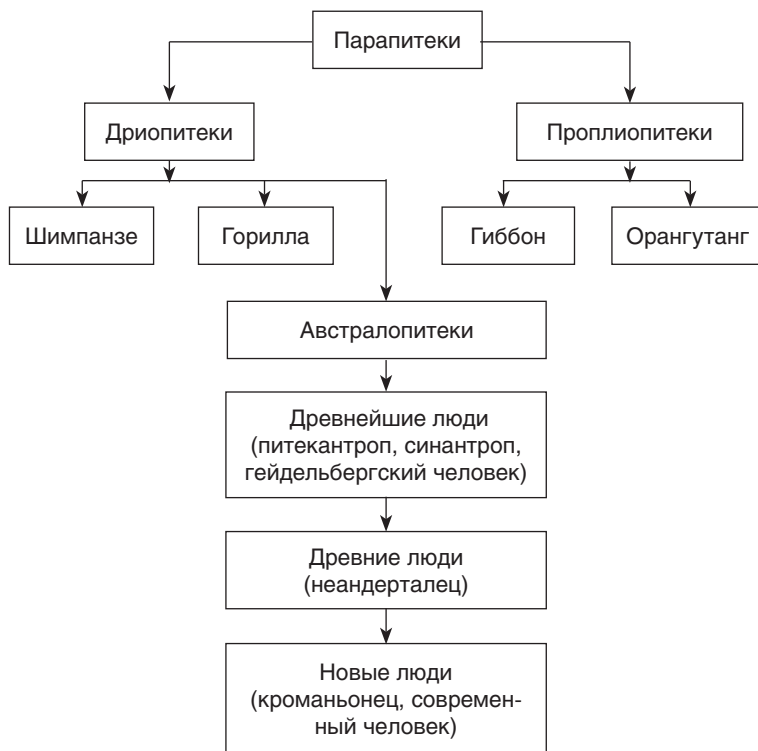


Рис. 15.1. Родословная человека

Итак, линия эволюции человека выстраивается следующим образом: «Человек умелый» (австралопитек) — «Человек прямоходящий» (питекантроп, синантроп) — «Человек неандертальский» — «Человек разумный» (кроманьонец).

Современные биологи и антропологи полагают, что процесс биологической эволюции человека как вида прекратился со времени появления *homo sapiens*. В течение данного периода мозг человека не изменился, морфологическое изменение его завершилось. Косвенно о прекращении эволюции мозга свидетельствует тот факт, что его размеры у *homo sapiens* остаются неизменными на протяжении примерно 30—40 тыс. лет. А у наших предков они увеличивались постоянно, в течение всей эволюции. При этом у человека нет прямой зависимости между величиной мозга и индивидуальной одаренностью. По мнению ученых, развитие процесса антропогенеза завершается вместе с прекращением видообразования человека, что произошло 30—40 тыс. лет назад. С этого времени заканчивается и действие группового отбора как ведущего фактора эволюции человека. Человек как социальное существо эволюционирует быстрее, чем как существо биологическое, поэтому, несмотря на огромные достижения цивилизации, между человеком, жившим тысячелетия назад, и человеком, живущим сейчас, нет существенных биологических различий.

Генотип человека обеспечивает возможность восприятия социальной программы, а полная реализация его биологической организации возможна лишь в условиях социальной среды. Хотя мутационный процесс продолжается, биологическая эволюция человека будет и далее замедляться вследствие ослабления естественного отбора, прекращения его видообразующей функции. Однако в пределах вида возможны колебания: в длине тела (доспехи средневековых рыцарей малы большинству современных европейцев), изменении темпов онтогенеза (акселерация подростков) и т.п. Жизнеспособность человеческого общества в целом возрастает, так как по мере развития цивилизации, устранения национальных и расовых барьеров обеспечивается обмен генами между ранее изолированными популяциями, увеличивается гетерозиготность и уменьшается возможность проявления рецессивных генов.

Есть другая гипотеза, утверждающая, что человек современного типа возник 200 тыс. лет назад в Восточной Африке. В соответствии с этой версией питекантроп, синантроп и неандерталец — не предки современного человека, а различные группы **гоминид** (человекообразных существ), вытесненных «Человеком прямоходящим» из Восточной



Африки. В пользу данной гипотезы свидетельствуют генетические исследования, которые не всеми антропологами и палеонтологами признаются надежными.

Согласно другой точке зрения только архаичные люди возникли в Африке, а современные там, где они живут сейчас. Человек покинул Африку не менее 1 млн лет назад. Эта гипотеза основывается на палеонтологическом сходстве между современными людьми и далекими предками, живущими в местах их обитания.

Какая из этих гипотез справедлива, сказать пока невозможно, так как палеонтологическая летопись неполна и промежуточные виды между человеком и обезьянами до сих пор в полном объеме неизвестны.

## 15.4. Эволюция культуры человека

Телесная красота человека есть нечто скотоподобное, если под ней не скрывается ум.

*Демокрит*

Человек — существо биологическое и социальное, что и определяет его особое положение в природе и качественно отличает от других организмов. Благодаря тому, что человек является биологическим существом, — его эволюционное развитие подчиняется всем основным закономерностям наследственности и изменчивости. Реализация наследственной информации в условиях определенной внешней среды формирует биологическую природу человека — его строение, физиологию, создает материальные предпосылки для развития и мышления, способности мозга накапливать информацию нового типа — социальную. В процессе очеловечивания происходит уменьшение плодовитости, удлинение периода детства, замедление полового созревания, возрастание длительности жизни одного поколения.

Значение естественного отбора резко меняется в жизни человека и животных. Если у животных отбор — это главный фактор эволюции, то у человека его роль заключается в сохранении генофонда, в сдерживании мутаций, отрицательно влияющих на его здоровье. Состояние физического здоровья за историю *homo sapiens* существенно улучшилось. Комплексным показателем может служить увеличе-

ние средней продолжительности жизни населения. Под влиянием социальных условий она возросла с 20–22 лет в древности до 75–78 лет сегодня в странах Западной Европы и 82–88 лет — в Японии.

Эволюция человека продолжается на всем протяжении его существования. Но она относится к социальной стороне жизни. С тех пор как человек выделился из животного мира, биологическая эволюция перестала играть решающую роль.

Одновременно с эволюцией человека как биологического вида происходила эволюция его культуры. Культура — это исторически определенный уровень развития общества и человека, его духовных, материальных и творческих способностей, а также его взаимоотношения с окружающей средой. Культура — это все, что создано человеком в отличие от того, что дано ему природой. Она может быть оценена, основываясь на материале орудий труда, созданных и применяемых человеком.

Сегодня можно говорить о ведущей роли культуры в эволюции *homo sapiens*. Политические, экономические и социальные изменения во многих странах, обуславливающие улучшение жизни людей, прямо влияют на состояние их здоровья и, следовательно, на уменьшение зависимости человека от естественного отбора.

**Каменный век** — эпоха применения каменных орудий, делится на палеолит (древнекаменный век), мезолит (среднекаменный век) и неолит (новокаменный век). В нижний палеолит (австралопитек и «Человек прямоходящий») было преобладание галечных орудий, ручных рубил; в средний палеолит (неандерталец) — преобладание орудий на отколотых частях камня; в верхний палеолит (от 38 тыс. лет) — появление пещерного искусства у «Человека разумного».

В мезолите (среднекаменном веке) преобладал охотничий, собирательный тип общественного устройства.

В неолите (новокаменный век) 9–6 тыс. лет тому назад, получившем название неолитической революции, произошло одомашнивание диких животных, переход к выращиванию растений и оседлому образу жизни. Из охотничье-собирательное хозяйство превратилось в производящее скотоводческо-земледельческое. Виды домашних животных и культурных растений, выведенные с помощью искусственного отбора и гибридизации, гончарное производство,

ткачество, металлургия и другие результаты неолитической революции широко используются и сейчас.

Следующие стадии культуры сведены в так называемую систему «трех веков» — **медный, бронзовый, железный**. Они имели каждый свою датировку, но потом выяснилось, что это, скорее, стадии развития отдельной культуры и их время зависит от времени развития данной культуры. Последовательность смены «веков» не везде соблюдаются, и в целом данная схема ныне признается неудовлетворительной, хотя ничего лучшего пока не предложено.

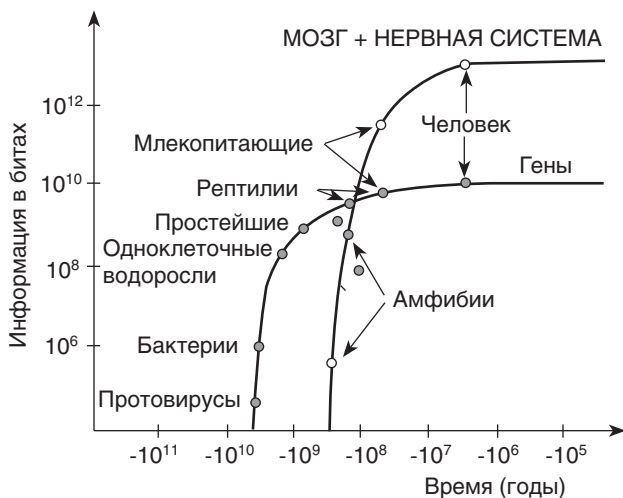
В частности, считается, что развитие цивилизации идет через подражание. В традиционных обществах подражают старикам, и такое общество консервативно и имеет незначительную способность к развитию. В прогрессивных обществах подражают талантливым, и такое общество способно развиваться быстрее.

Для нормального развития необходимы кризисы, которые требуют напряжения сил общества для соответствующего ответа на вызов ситуации. Человек достигает цивилизованного состояния не вследствие биологических дарований (наследственности) или легких условий географического окружения, а в процессе удачного реагирования на вызов ситуации особой трудности, мобилизующей беспрецедентные усилия. Прогресс общества определяется ответом на вызов объективных условий существования.

Способность хранить и перерабатывать информацию принадлежит к числу наиболее важных свойств живых систем. В ходе биологической эволюции эта способность необычайно усилилась, качественно и количественно. В живых системах используются главным образом три формы информации:

- 1) генетическая информация;
- 2) информация в нервной системе и головном мозге;
- 3) экстрасоматическая информация, хранящаяся вне организма в записях, книгах и т.д.

Эти три формы информации образовались последовательно, одна за другой, в ходе эволюции. Процесс хранения генетической информации начался с возникновением жизни на Земле 3—4 млрд лет назад и быстро развивался, пока примерно через 10 млн лет после возникновения земноводных, пресмыкающихся и млекопитающих не вышел на плато на уровне около  $10^{10}$  битов генетической информации (рис. 15.2).



**Рис. 15.2. Развитие генетической и нейронной информационной емкости в ходе биологической эволюции**

Человечество как биологический вид и как социальный феномен также существует благодаря трем каналам информации. *Первый — генетический* — присущ всей живой природе. Материальным его носителем является ДНК. Совокупность генов в организме (геном) и в популяции (генофонд) нестабильна. Мутационный процесс меняет признаки организма случайно, не интересуясь их судьбой. *Второй* источник изменчивости генов — *генетическая рекомбинация при скрещивании*. В каждом новом поколении появляются новые комбинации, порождающие новые фенотипы. Не выдержившие испытания носители неудачных признаков относительно редко оставляют потомство и уступают место более устойчивым организмам. Следующее поколение будет немного иным, чем прежнее. Так идет биологическая эволюция — за счет контролируемых средой изменений в генетическом канале передачи информации.

Второй канал информации у человека сохраняется в нервной системе и в головном мозге, и прежде ее количества было значительно меньше. Лишь с появлением земноводных количество информации становится сравнимым с количеством генетической информации, а с появлением

млекопитающих, и особенно человека, количество информации, хранящейся в нервной системе и в головном мозге, превосходит количество генетической информации на много порядков. Человек располагает около  $10^{10}$  битов генетической информации и более  $10^{13}$  битов информации в головном мозге и нервной системе, причем обладает доступом к еще большему количеству экstrasоматической информации в библиотеках и других хранилищах. История эволюции хранения информации в живых существах наглядно представлена на рис. 15.2.

*Третий* канал информации, существующий у человека и в развитом виде только ему присущий, — *лингвистический*. В устной речи информация кодируется звуками (фонемами), которые объединяются в слова, а слова — в предложения. С незапамятных времен по этому каналу передавались сведения о простейших способах выжить, потом обряды и обычаи, технологии и религии, философские учения, производственные отношения и политические системы. В третьем канале, как и в первом, от поколения к поколению накапливаются изменения. Есть в этом канале и аналог генетической рекомбинации — новые идеи рождаются на стыке информации языков, культур. Внешней средой для третьего канала являются условия среды — отношения людей между собой.

## 15.5. Социобиология

Ученый должен организовать факты,  
ибо наука строится из фактов, как дом  
из кирпичей; но простое собрание фактов  
столь же мало является наукой, как куча  
камней — домом.

*А. Пуанкаре*

Возникновение социобиологии связано с выходом в 1975 г. книги американского энтомолога Э. О. Уилсона «Социобиология: новый синтез».

Она возникла на базе биологических (популяционной генетики, этологии, экологии и эволюционной теории) и социогуманитарных (социологии, социальной психологии, этнографии) знаний. Социобиологи поставили задачу установления биологических основ социального поведения

всех видов животных, включая человека. Речь идет об альтруистических, эгоистических, агрессивных формах поведения, а также о сексуальных (ухаживание, выбор партнера, выраживание потомства).

По мнению социобиологов, принципиальные изменения в представлении о природе человека должна внести теория генно-культурной коэволюции. Суть ее состоит в утверждении, что процессы генной и культурной эволюции человека происходят одновременно. Гены и культура в этой эволюции неразрывно связаны между собой. Однако ведущая роль все же отводится генам. Они, согласно данной теории, оказываются конечными причинами многих человеческих поступков.

Уилсон определяет задачу социобиологии как изучение биологических основ всех форм социального поведения у всех животных, включая человека. Главные положения его теории сводятся к тому, что у человека не может быть «трансцендентальных» целей, возникших вне его биологической природы. По мнению представителей теории генно-культурной коэволюции, весьма вероятно, что человек наследует моральные чувства по биологическим каналам.

Безусловно, сильная сторона социобиологии — попытка синтеза двух видов знаний, условно говоря, синтез биологии и культуры. По мнению социобиологов, формирование человеческого мозга произошло в результате ускорения процессов нейроанатомической и поведенческой эволюции, не имеющее прецедентов во всей истории жизни. Причиной такого ускорения является коэволюция — взаимодействие, в котором культура порождена и оформлена биологическими императивами, а биологические черты изменяются генетическим путем под влиянием культуры. Центральный тезис социобиологии звучит так: каждая форма социального поведения обязательно имеет генетическую основу, которая заставляет индивидов действовать так, чтобы обеспечить успех для себя и сородичей.

С возникновением человека генетическая информация утрачивает свое главенствующее значение в его жизнедеятельности. Она заменяется социальной информацией. А влияние последней определяется уже не столько естественным отбором наиболее умелых и одаренных, сколько социальными факторами, которым подчиняется и общеприродный процесс. В современной научной литературе существуют два различных подхода к решению проблемы

о роли социальных и биологических факторов в индивидуальном развитии человека или в его онтогенезе:

1) *панбиологизм* — развитие человека целиком обусловлено генами, абсолютизируя, таким образом, биологический фактор;

2) *пансоциологизм* — все люди рождаются с одинаковыми генетическими задатками, а главную роль в развитии их способностей играют воспитание и образование.

Уже на самой ранней стадии развития эмбриона начинается реализация генетической программы, полученной от родителей и закрепленной в хромосомах ДНК. При этом развитие человеческого эмбриона и эмбрионов у других позвоночных очень сходно, особенно на ранних стадиях. А длительно сохраняющееся сходство эмбрионов человека и обезьян свидетельствует об их физиологическом родстве и единстве происхождения.

На сегодняшний день господствующей точкой зрения можно считать ту, которая утверждает, что наследуются не сами способности как таковые, а лишь их задатки, в большей или меньшей степени проявляющиеся в условиях среды.

Генетическим материалом у человека является ДНК, которая находится в хромосомах. Хромосомы каждой клетки человека несут в себе несколько миллионов генов. Но генетические возможности, задатки реализуются только в том случае, если ребенок с раннего детства находится в общении с людьми в соответствующей социальной среде.

Большое количество независимых исследований, выполненных почти в 10 странах, свидетельствует о том, что индивидуальные различия в коэффициентах умственных способностей обусловлены как наследственностью, так и средой. У раздельно воспитываемых близнецов различия между коэффициентами были большими, чем у близнецов, живущих вместе. В связи с тем, что генотип у близнецов идентичен, полученные результаты указывают на существенное влияние среды на умственные способности. То, что умственные способности определяются не только наследственностью, но и средой, подтверждается и другими исследованиями.

Генетический потенциал развития человека ограничен во времени, причем достаточно жестко. Если пропустить срок ранней социализации, он угаснет, не успев реализоваться. Характерные черты человеческого поведения и де-

тельности приобретаются только через социальное наследование, через передачу социальной программы в процессе воспитания и обучения.

Для понимания роли наследственности и среды в онтогенезе человека ключевыми являются такие понятия, как:

**генотип** — это наследственная основа организма, совокупность генов, локализованных в его хромосомах, — это та генетическая конституция, которую организм получает от своих родителей;

**фенотип** — совокупность всех свойств и признаков организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития.

Фенотип определяется взаимодействием организма с условиями среды, в которых протекает его развитие. В отличие от генотипа фенотип изменяется в течение всей жизни организма и зависит от генотипа и среды.

Фенотип человека можно представить состоящим из нескольких элементов: биологические задатки, кодируемые в генах; среда — социальная и природная; деятельность индивида; эволюция сознания.

Взаимодействие наследственности и среды в развитии человека имеет место на всем протяжении его жизни. Но особую важность оно приобретает в периоды формирования организма.

Наследственность определяет то, каким может стать организм, но развивается человек под одновременным влиянием обоих факторов — и наследственности, и среды. Адаптация человека осуществляется под влиянием двух программ наследственности: *биологической* и *социальной*.

Таким образом, при рассмотрении роли биологических и социальных факторов в развитии человека следует избегать крайностей как панбиологизма, так и пансоциологизма. В первом случае человек низводится до уровня животного. Во втором — предстает как *tabula rasa* (чистая доска), на которой среда пишет его развитие, не считаясь с биологическими задатками.

С вопросом биологического и социального тесно связана и проблема бессознательного и сознательного в человеке. Определяющее влияние на исследование этой проблемы оказал З. Фрейд, открывший целое направление в учении о человеке и утвердивший бессознательное как важнейший фактор человеческого измерения и существования. Человек, по Фрейду, — это прежде всего эротическое существо, управляемое бессознательными инстинктами.



Со стороны биологической природы человек выступает как индивид, а со стороны социальной — как личность. Личность следует отличать от индивида. **Личность** есть категория духовная, **индивид** же есть категория биологическая.

Качество общественных отношений общения оказывает огромное влияние на формирование исторического типа личности, ее конкретное состояние и свойства. Деятельность человека является той основой, благодаря которой происходит развитие личности и выполнение ею различных социальных ролей в обществе. Только в деятельности человек выступает и самоутверждается как личность, иначе он остается «вещью в себе».

Социально-деятельностная характеристика человека лежит в основе его социализации, в процессе которой и происходит формирование личности. Социализация — это процесс усвоения индивидом определенной системы знаний, норм и ценностей, позволяющих ему осуществлять свою жизнедеятельность. Она происходит по мере усвоения человеком социального опыта, но осуществляется в основном через его включенность в определенные общественные отношения, формы общения и виды деятельности.

## Выводы

1. *Человек* как предмет естественно-научного познания может рассматриваться в трех аспектах: 1) происхождение; 2) соотношение в нем естественного и гуманитарного; 3) изучение специфики человека методами естественно-научного познания. Антропогенез — один из разделов антропологии (науки о человеке), изучающий происхождение и эволюцию человека, становление его как вида в процессе формирования общества.

2. В науке господствует вытекающая из теории эволюции Дарвина концепция происхождения человека от высоко развитых предков современных обезьян. Она получила в XX в. генетическое подтверждение, поскольку из всех животных по генетическому аппарату ближе всего к человеку оказались шимпанзе.

3. Сходство человека и животного определяется вещественным составом, строением и поведением, одинаковостью эволюции человеческого зародыша и животного, а также наличием у человека рудиментарных органов. Главные *отличия человека от животных*: понятийное мышление, речь,

труд — стали ключевыми факторами, благодаря которым происходило обособление человека от природы.

4. *Происхождение человека* — уникальное явление, при котором осуществляется переход от биологических к социальным процессам. Под критериями отличия человека от обезьяны понимается некое фундаментальное свойство, в котором отразилась бы специфичность человеческого общества. В качестве таких критериев обычно рассматриваются: а) наличие труда как сугубо человеческой деятельности; б) сочетание прямохождения, свободной руки и сложного мозга.

5. Морфологическое развитие человеческого мозга и становление первичной социальной организации завершилось 30–40 тыс. лет назад. Переломный момент в эволюции языка, скорее всего, произошел более 1 млн лет назад в экваториальной Африке.

6. *Линия эволюции человека* выстраивается следующим образом: «Человек умелый» (австралопитек) — «Человек прямоходящий» (питекантроп и синантроп) — «Человек неандертальский» — «Человек разумный» (кроманьонец). После кроманьонца человек не изменялся генетически, тогда как его социальная эволюция продолжалась.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Юность счастлива, потому что она ничего не знает; старость несчастлива, потому что все знает.

*Ф. Шатобриан*

### План семинара

1. Человек как предмет естественно-научного познания. Сходства и отличия человека и животных.
2. Концепции происхождения человека на Земле.
3. Антропологические данные о происхождении человека.
4. Эволюция культуры человека.
5. Проблема внесемных цивилизаций и связи с ними.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Креационизм** (лат. «creatio» — создание) — тезис о божественном сотворении мира и человека.

**Антропология** (греч. «антропос» — человек) — наука, изучающая вопросы происхождения человека, специфику его строения и эволюции.

**Рамапитек** — останки ископаемой крупной обезьяны, по строению зубов оказавшейся промежуточной между современными человекообразными обезьянами и человеком. Жили около 14–8 млн лет назад.

**Австралопитеки** (лат. «австралос» — южный, греч. «питекос» — обезьяна) — самые древние, переходные от обезьян к человеку формы, найденные в Южной Африке и вымершие свыше 2 млн лет назад. Эволюция их продолжалась 8 млн лет. Австралопитеки ходили на двух ногах при выпрямленном положении тела, жили в пещерах, на безлесных пространствах. Их челюсти были слабо развиты. В качестве орудий для ударов использовали камни, палки, крупные кости конечностей копытных животных, для резки и рубки применяли нижние челюсти и лопатки тех же животных. Австралопитеки были всеядными.

**Человек умелый** — один из первых представителей человеческого рода, обнаруженный в Восточной Африке и живший 2 млн лет назад. У него завершились морфологические перестройки, связанные с прямохождением, масса головного мозга увеличилась до 650 г. Концевые фаланги пальцев короткие и плоские, как у современного человека. Вместе со скелетом человека умелого найдены грубые галечные орудия самой ранней культуры в истории человечества.

**Древнейшие люди** (архантропы) — ранняя стадия становления человека. Предками их были различные ветви вида человека умелого: представлены значительным числом форм (питекантроп — о. Ява, синантроп — Китай, гейдельбергский человек — близ Гейдельберга (Германия) и др.). Внешне они были очень похожи на современного человека, хотя строение черепа имело такие примитивные черты, как низкий, покатый лоб, мощное развитие надбровного валика, отсутствие подбородочного выступа; масса мозга достигала 1000 г, но форма его также была примитивной. Рост мужчины составлял 160 см. Они — носители культуры отщепов и рубил. По-видимому, им была свойственна примитивная речь. Речь, умение мыслить словами называют второй сигнальной системой и характерна она только для человека. Древнейшие люди освоили огонь. Они далеко расселились на территории Старого Света. Время их существования 1,5 млн — 200 тыс. лет.

**Древние люди** (палеоантропы) — жили 200—400 тыс. лет назад. Представители этой стадии названы неандертальцами. Название этого вида связано с долиной Неандерталь в Германии (XIX в.), где впервые были найдены останки этих людей. В ископаемом виде они найдены еще в четырехстах местах северного полушария Евразии. По времени с эпохой неандертальцев совпала эпоха великого оледенения. При большой массе мозга и черепа эти люди обладали еще примитивными чертами: низкий лоб и затылок, большой надглазничный валик, слабое развитие подбородочного выступа. Речь, по-видимому, была еще нечленораздельной.

Этот вид с начала своего возникновения дал две ветви эволюции: одна была представлена людьми звероподобными, очень крупными, но по строению бывшими ближе к древнейшим людям; они являлись тупиковой ветвью эволюции. Люди другой ветви были меньше ростом и менее развиты физически, но по морфологическим признакам были ближе к современному человеку. Они жили большими стаями, у них было разделение труда между мужчинами и женщинами. Речь еще примитивна, но логическое мышление уже было развито. Лишь те племена, где начинали сохранять стариков, учиться у них и перенимать жизненный опыт, получали преимущество в борьбе за существование.

**Человек разумный** (неоантроп) — существует 400 тыс. лет. Представителем неоантропов является кроманьонец. Первая находка была сделана на юге Франции близ местечка Кроманьон. Затем их останки были найдены в восточном Средиземноморье, в Передней Азии, на юго-востоке Европы. Отсюда кроманьонцы расселились по всей Земле и слились с наиболее прогрессивными неандертальцами. Они характеризуются небывалым психическим развитием. Главной чертой было развитие интеллекта, способности к искусству. Они охраняли слабых, женщин, детей, стариков и этим обеспечили свое процветание. Важнейший вклад этих людей в историю человечества — приручение ряда животных и развитие земледелия, выведение культурных растений.

**Стадии становления человека** не являются последовательной цепью переходов из одной в другую. Имеются свидетельства, что некоторые из этих стадий существовали одновременно. Это установлено для человека умелого и питекантропа, неоантропа и палеоантропа. Вместе с тем каждая стадия была представлена несколькими формами.

**Расы человека** — формы вида человека разумного, которые выделились при приспособлении кроманьонцев к различным природно-климатическим условиям земного шара. Человечество в настоящее время представлено одним видом — *homo sapiens*. Однако этот вид неоднороден. Он состоит из трех больших и множества малых и переходных рас: экваториальная (австрало-негроидная), евразийская (европеоидная), азиатско-американская (монголоидная). Не все расовые отличия имеют приспособительный характер; многие из них возникли, вероятно, в силу коррелятивной изменчивости, а также в результате дрейфа генов. Наличие переходных рас между большими расами также свидетельствует об их относительности.

**Социобиология** — наука, устанавливающая связи биологических основ и социального поведения всех видов животных, включая человека.

**Биополитика** — междисциплинарная отрасль знания (на стыке биологии, социологии и политологии), исследующая формы межорганизменных взаимодействий на различных уровнях биологической эволюции, включая человека.

**Формула Дрейка** — оценка числа внеземных цивилизаций нашей Галактики на основе формулы американского физика Ф. Д. Дрейка.

### Тестовые задания

1. Какую из следующих концепций происхождения человека можно считать естественно-научной?
  - а) божественное сотворение человека;
  - б) предками человека были тотемы (животные, растения);
  - в) естественное происхождение человека из ила;
  - г) происхождение человека от внеземных существ;
  - д) происхождение человека от обезьян;
  - е) происхождение человека от высокоразвитых предков современных обезьян.
2. В чем отличие человека от животных?
  - а) в вещественном составе, строении и поведении организмов;
  - б) зародышевом развитии;
  - в) существовании у человека рудиментарных органов;
  - г) наличии белков и нуклеиновых кислот;
  - д) способности к общественному труду.

3. В чем сходство человека с млекопитающими?
  - а) наличие разума;
  - б) наличие речи;
  - в) способность к труду;
  - г) общий план строения;
  - д) ни в чем.
4. Как называются остатки органов, утративших в ходе эволюции свое биологическое значение?
  - а) плавники;
  - б) реликты;
  - в) редуценты;
  - г) рудименты;
  - д) ферменты.
5. Кто выдвинул гипотезу о происхождении человека от высокоразвитых предков современных человекообразных обезьян?
  - а) Ч. Дарвин;
  - б) Э. Геккель;
  - в) Ж. Ламарк;
  - г) К. Линней;
  - д) А. Опарин.
6. Что является прародиной человека?
  - а) Восточная Африка;
  - б) Предгорье Гималаев в Индии;
  - в) Пакистан;
  - г) Южная Америка;
  - д) Центральная Европа.
7. К каким людям относят питекантропа?
  - а) древним;
  - б) австралопитекам;
  - в) древнейшим;
  - г) современным;
  - д) никаким.
8. Когда появился «человек разумный» (кроманьонец)?
  - а) 1 млн лет назад;
  - б) 5 млн лет назад;
  - в) 1 млрд лет назад; г) 100 тыс. лет назад;
  - г) (40—15) тыс. лет назад.
9. Какие изменения произошли в скелете человека в связи с членораздельной речью?

- а) появление 4 изгибов;
  - б) увеличение мозговой части черепа;
  - в) развитие сводчатой стопы;
  - г) подвижность нижней челюсти;
  - д) большой палец нижних конечностей приближен к остальным и выполняет функцию опоры.
10. Членораздельная речь раньше была:
- а) у австралопитеков;
  - б) дриопитеков;
  - в) рамапитеков;
  - г) неандертальцев;
  - д) человека умелого.
11. Укажите черту строения человека, по которой он отличается от человекообразных обезьян?
- а) сложноорганизованный головной мозг объемом  $1000-1800 \text{ см}^3$ ;
  - б) противопоставление большого пальца кисти остальным;
  - в) передние конечности хватательного типа;
  - г) бинокулярное зрение;
  - д) среди них нет такой черты.
12. В эволюции человека возникновение речи предшествовало:
- а) прямохождению;
  - б) развитию руки;
  - в) изготовлению орудий труда;
  - г) развитию искусства;
  - д) общественному образу жизни.
13. Захоронения впервые встречаются:
- а) у питекантропов;
  - б) синантропов;
  - в) кроманьонцев;
  - г) неандертальцев;
  - д) австралопитеков.
14. Искусство возникло:
- а) у неандертальцев;
  - б) кроманьонцев;
  - в) питекантропов;
  - г) синантропов;
  - д) австралопитеков.

15. Какая эволюция человека происходит в настоящее время?

- а) генетическая;
- б) генетическая и социальная;
- в) социальная;
- г) всесторонняя;
- д) никакая.

16. Когда жил «человек умелый» (*homo habilis*) (австралопитек)?

- а) 1 млрд лет назад;
- б) 5,5 млн лет назад;
- в) 2 млн лет назад;
- г) 0,5 млн лет назад;
- д) 150 тыс. лет назад.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие гипотезы происхождения человека вам известны?

2. Какие сходства и отличия человека и животных вы знаете?

3. Что способствовало появлению у человека речи и абстрактного мышления?

4. Что понимается под способностью человека к труду?

5. Какое место занимает человек в системе живого?

6. Каковы гипотезы Ч. Дарвина и Э. Геккеля о происхождении человека?

7. Какие антропологические данные подтверждают естественную эволюцию человека?

8. Продолжается ли в настоящее время эволюция человека? Обоснуйте свой ответ.

9. Охарактеризуйте эволюцию культуры человека.

10. «Человек есть разумное существо, субъект труда, социальных отношений и общения». Можно ли отнести это определение к ребенку?

11. В чем состоят основные концепции антропологии?

### Тематика рефератов

1. Новые данные о происхождении человека и поиски его прародины.

2. Современная теория об основных факторах, этапах и закономерностях антропосоциогенеза.



3. Проблема множественности разумных миров и изучение НЛО.
4. Роль среды и наследственности в формировании человека.
5. Мозг и высшая нервная деятельность.
6. Биосоциальные основы поведения.
7. Стресс и тренировка.

### Литература

1. Яблоков, А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М., 1988.
2. Раджабов, О. Р. Концепция современного естествознания / О. Р. Раджабов, М. К. Гусейханов. — Махачкала, 1999. — 400 с.
3. Степин, В. С. Философская антропология и философия науки. — М., 1992.
4. Медников, Б. М. Дарвинизм в XX веке. — М., 1975.
5. Поршнев, Б. Ф. О начале человеческой истории. — М., 1983.

## Глава 16

### ЧЕЛОВЕК

#### 16.1. Физиология человека

Человек есть мера всем вещам —  
существованию — существующих  
и несуществованию — несуществующих.

*Протагор (V в. до н.э.)*

Физиология человека как наука о жизнедеятельности здорового организма человека и функциях его составных частей — клеток, тканей, органов и систем — зародилась в XVIII столетии. Основоположителем физиологии как самостоятельной отрасли знаний является английский ученый Уильям Гарвей, открывший в 1628 г. большой круг кровообращения. Физиология человека базируется на функционировании основных систем организма людей, таких как кровеносная, лимфатическая, пищеварительная, нервная, дыхательная и др.

Физиологи Д. Экклс, Э. Хаксли, А. Ходжкин, установившие ионные механизмы важнейших физиологических процессов — возбуждения и торможения, отмечены Нобелевской премией. Как известно, нервы и мышцы относятся к возбудимым образованиям. Это значит, что в ответ на раздражение в них возникают различные электрические потенциалы. Согласно ионно-мембранной теории биоэлектрических потенциалов, созданной в середине XX столетия А. Ходжкиным, Э. Хаксли, Б. Катцом, они обусловлены неодинаковой концентрацией ионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  внутри и вне клетки и различной проницаемостью для них поверхностной мембраны. Позже были открыты медиаторы (нейротрансмиттеры), что легло в основу учения о химическом механизме передачи нервного импульса.

Разработка И. П. Павловым учения об условных рефлексах позволило ему не только получить подтверждение

сформулированной Сеченовым концепции о зависимости всех функций организма от окружающей среды, но и создать новое учение — физиологию высшей нервной деятельности человека и животных.

Организм и окружающая среда — это единая система, так как между ними происходит непрерывный обмен веществом и энергией (рис. 16.1). Энергия необходима организму для поддержания всех его жизненно важных функций. Она выделяется за счет окисления сложных органических соединений, т.е. белков, жиров и углеводов. Резервирование энергии происходит в основном в виде макроэргических связей АТФ (аденозинтрифосфата).

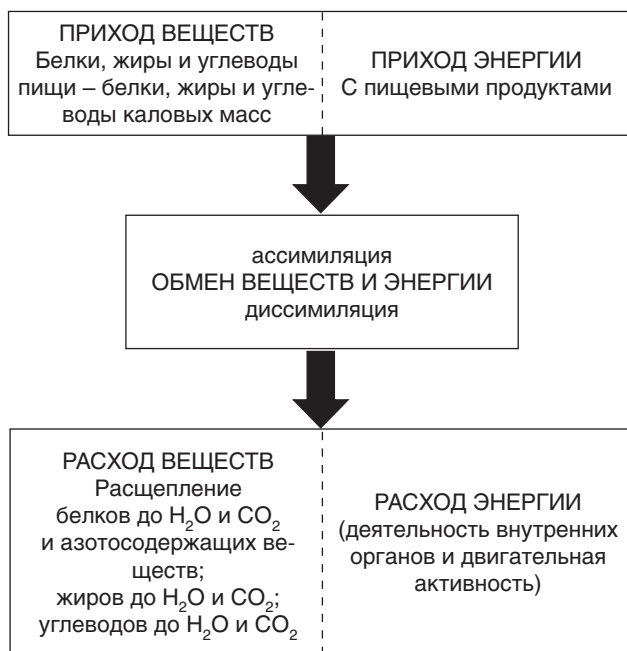


Рис. 16.1. Схема обмена веществ и энергии в организме

**АТФ** — это универсальный источник энергии в организме человека. Высвобождение энергии происходит за счет гидролиза АТФ, связанного с концевой фосфатной группой химической связи. Часть этой энергии выделяется в виде теплоты, необходимой для терморегуляции. Так, при со-

кращении мышц около 80% энергии теряется в виде тепла и только 20% превращается в механическую работу.

Процессы обмена веществ, происходящие на клеточном и тканевом уровнях в организме человека, называют **метаболизмом**, который состоит из двух противоположных процессов: анаболизма и катаболизма.

*Анаболизм* — это процесс биосинтеза органических веществ. Они обеспечивают рост, развитие организма, обновление его структур и накопление структурной энергии. *Катаболизм* — это процесс расщепления или окисления сложных молекул до простых веществ с выделением энергии и резервированием ее в виде АТФ. Эти процессы обеспечивают в организме белковый, углеводный и жировой обмен. *Белки* — это биополимеры, в состав которых входят около 20 аминокислот, содержащих азот. Функции белков многообразны: пластическая (строительная), энергетическая, транспортная, ферментативная и др. При сгорании 1 г белка в организме высвобождается 4,1 ккал энергии. Суточная потребность человека в белках не менее 85–90 г.

*Жиры* — это эфиры высших жирных кислот и глицерина. Их функции — энергетическая и структурная. Так, при сгорании в организме 1 г жира высвобождается 9,3 ккал энергии. В сутки потребность человека в жирах составляет от 80 до 100 г. Жиры депонируются в организме в подкожной жировой клетчатке и в оболочках вокруг внутренних органов.

*Углеводы* — это вещества, сладкие на вкус, хорошо растворимые в воде. Их можно условно разделить на три класса соединений: моносахариды (глюкоза); дисахариды (мальтоза); полисахариды (крахмал). Они выполняют энергетическую и пластическую функции, а также входят в состав нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и АТФ. Потребность в углеводах составляет в сутки 350–450 г. Запасы углеводов в организме человека в виде животного крахмала — гликогена — имеются в печени и в скелетных мышцах.

Таким образом, соотношение в пищевом рационе основных питательных веществ составляет 1 : 1 : 4 (белков — жиров — углеводов).

В состав пищи входят также вода, минеральные (неорганические) вещества и витамины. Витамины — это особая группа веществ, не синтезируемых вовсе или синтезируемых в малых количествах в организме человека. Они необходимы для нормального обмена веществ, роста, развития

человека, поддержания его здоровья. Все витамины подразделяются на водо- и жирорастворимые. К первой группе относятся витамин С, витамины группы В. Они содержатся в основном в продуктах растительного происхождения (овошах, фруктах). Источником жирорастворимых витаминов (А, D, Е и К) является пища животного происхождения (молоко, яйца, мясо, печень). Некоторые витамины (К и В<sub>12</sub>) синтезируются микрофлорой кишечника. Недостаточные поступления витаминов в организм сопровождаются различными заболеваниями (авитаминозы).

В состав внутренней среды организма входит кровь, лимфа и тканевая жидкость. Внутренняя среда обладает динамическим постоянством констант — гомеостазом, являющимся условием независимого существования организма человека. **Гомеостаз** — механизм, посредством которого живой организм поддерживает параметры своей внутренней среды, противодействуя внешним воздействиям, на таком постоянном уровне, который обеспечивает нормальную жизнь.

Функциями **кровеносной системы** являются следующие:

1. Поддержание гомеостаза.
2. Транспортная (перенос газов, питательных веществ, продуктов их метаболизма).
3. Терморегуляторная.
4. Защитная (участие в иммунных реакциях).
5. Экскреторная (выделительная) и др.

Объем крови в организме человека составляет 4–6 литров (или 6–8% от массы тела). Всего 40–45% крови движется по сосудам (в норме); при нагрузке на организм кровь выходит из депо: селезенки, печени, легких и ее обмен увеличивается. Система кровообращения у человека — это сердце и замкнутая система кровеносных сосудов, включающая артерии, вены, капилляры, куда кровь поступает благодаря сокращениям сердца. Сокращаясь, сердце выбрасывает порцию крови (70 мл) в артерии, при расслаблении в него вливается кровь из вен. Капилляры образуют густую сеть длиной 200 000 км.

Масса сердца колеблется в пределах 200–400 г, по объему оно сопоставимо с кулаком. Сердце сокращается ритмично со средней частотой 75 раз в минуту. Объем крови, перекачиваемой сердцем за 1 мин, составляет 6 л, но может

достигать и 30 л/мин, если человек находится в состоянии возбуждения или под большой физической нагрузкой. В нормальных условиях у взрослого человека максимальное (систолическое) давление крови в плечевой артерии составляет 110—125 мм рт. ст., а минимальное (диастолическое) — 70—85 мм рт. ст.

Система **лимфообращения** осуществляет постоянный отток межтканевой жидкости по направлению к сердцу. Лимфа служит для поддержания объема и состава тканевой жидкости, всасывания и переноса питательных веществ из пищеварительного канала в венозную систему, а также для участия в иммунных реакциях организма посредством доставки лимфоцитов, антител и др. Лимфа поддерживает белковое постоянство крови. Ее движению способствуют ритмические сокращения стенок лимфатических сосудов и отрицательное (присасывающее) внутригрудное давление.

Основная функция **органов дыхания** — обеспечение тканей организма человека кислородом и освобождение их от углекислого газа. Внутриклеточное дыхание обеспечивает освобождение энергии, необходимой для поддержания процессов жизнедеятельности. Образующийся при этом углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) переносится кровью к легким и удаляется с выдыхаемым воздухом. Дыхание происходит непрерывно и автоматически благодаря нервным импульсам, поступающим из дыхательного центра, расположенного в продолговатом мозге. Несмотря на автоматизм дыхательного центра, его работа контролируется корой больших полушарий. Взрослый человек в нормальном состоянии за один дыхательный цикл вдыхает и выдыхает в среднем около  $500 \text{ см}^3$  воздуха, а при дополнительном (после нормального вдоха) максимальном вдохе можно вдохнуть еще  $1500\text{—}3000 \text{ см}^3$  воздуха. Жизненная емкость легких равна суммарной величине дыхательного и дополнительного объемов вдоха и выхода (3—5 л).

**Пищеварительная система** человека осуществляет механическую и химическую переработку пищи для всасывания питательных веществ через стенки пищеварительного тракта и поступления их в кровь и лимфу. В пищеварительном аппарате происходят сложные физико-химические превращения пищи: от формирования пищевого комка в ротовой полости до всасывания и удаления непереваренных ее остатков. Эти процессы осуществляются в результате двигательной, всасывающей и секреторной функций системы

органов пищеварения. Все пищеварительные функции регулируются нервным и гуморальным путем. Нервные центры, регулирующие функции пищеварения, находятся в разных отделах головного мозга (продолговатый мозг, гипоталамус и кора головного мозга), а гормоны большей частью образуются в самом желудочно-кишечном тракте.

Пищеварительная система человека состоит из пищеварительной трубки (длиной 8—9 м) и тесно связанных с ней крупных пищеварительных желез: печени, поджелудочной железы, слюнных желез (крупных и мелких).

В ротовой полости осуществляется первичная химическая и физическая переработка пищи. Так, под действием ферментов слюны —  $\alpha$ -амилазы и мальтазы — происходит гидролиз (расщепление) углеводов при pH (кислотно-щелочном равновесии) 5,8—7,5. Слюноотделение происходит рефлекторно. Оно усиливается, когда мы чувствуем приятные запахи или, например, при попадании инородных частиц в ротовую полость. Объем слюноотделения составляет 0,5 мл в мин — в состоянии покоя (это облегчает речедвигательную функцию) и 5 мл в мин — во время еды. Слюна также обладает бактерицидными свойствами. Физическая обработка пищи включает размельчение (жевание) и формирование пищевого комка. Кроме того, в ротовой полости происходит формирование вкусовых ощущений. В этом большую роль играет также слюна, которая в данном случае выступает в роли растворителя. Известны четыре первичных вкусовых ощущения: кислое, соленое, сладкое, горькое. Они неравномерно распределяются на поверхности языка.

После глотания пища попадает в желудок. В зависимости от состава пища в желудке находится разное время. Хлеб и мясо перевариваются за 2—3 ч, жиры — 7—8 ч. В желудке из жидких и твердых компонентов пищи постепенно формируется полужидкая кашлица — химус. Желудочный сок имеет очень сложный состав, так как является продуктом секреции трех типов желудочных желез. Он содержит ферменты: пепсиногены, расщепляющие белки; липазы, расщепляющие жиры и др. Кроме того, в состав желудочного сока входят хлористоводородная кислота (HCl), придающая соку кислую реакцию (0,9—1,5), и слизь (мукополисахариды), предохраняющая стенку желудка от самопереваривания.

Почти полное освобождение желудка происходит через 2—3 ч после приема пищи. При этом он начинает сокра-

щаться в режиме 3 раза в минуту (продолжительность сокращений от 2 до 20 с). Желудок ежедневно выделяет 1,5 л желудочного сока.

Пищеварение в 12-перстной кишке отличается еще большей сложностью ввиду того, что туда поступают три пищеварительных сока: желчь, поджелудочный сок и собственный кишечный сок. В 12-перстной кишке химус подвергается действию ферментов, гидролизующих жиры, и углеводы, и белки, а также нуклеиновые кислоты; pH при этом составляет 7,5—8,5. Наиболее активны ферменты поджелудочного сока. Желчь облегчает переваривание жиров, превращая их в эмульсию. В 12-перстной кишке подвергаются дальнейшему расщеплению углеводы.

В тонком кишечнике (тощая и подвздошная кишка) сочетаются три взаимосвязанных процесса — полостное (внеклеточное) пищеварение, пристеночное (мембранное) и всасывание. Вместе они представляют собой этапы пищеварительно-транспортного конвейера. Химус продвигается по тонкой кишке со скоростью 2,5 см в минуту и переваривается в ней за 5—6 ч. Кишка сокращается 13 раз в мин, что способствует перемешиванию и нагреву пищи. Клетки кишечного эпителия покрыты микроворсинками, представляющими собой выросты высотой 1—2 мкм. Количество их огромно — от 50 до 200 млн на 1 мм<sup>2</sup> поверхности кишечника. Общая площадь кишечника за счет этого возрастает до 400 м<sup>2</sup>. В порах между микроворсинками адсорбированы ферменты.

В кишечном соке содержится полный набор ферментов, расщепляющих белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты. Эти ферменты осуществляют пристеночное пищеварение. Через микроворсинки происходит всасывание простых молекул этих веществ в кровь и в лимфу. Так, белки всасываются в кровь в виде аминокислот, углеводы — в виде глюкозы и других моносахаров, а жиры — в виде глицерина и жирных кислот в лимфу и частично в кровь.

Процесс пищеварения заканчивается в толстом кишечнике. Железы толстого кишечника секретируют слизь. В толстом кишечнике благодаря населяющим его бактериям происходит брожение клетчатки и гниение белков. При гниении белков образуется ряд ядовитых продуктов, которые, всасываясь в кровь, обеззараживаются в печени. Печень выполняет барьерную (защитную) функцию, синтезируя из ядовитых веществ безвредные для организма



вещества. В толстом кишечнике завершается активное всасывание воды и формирование каловых масс. Микрофлора (бактерии) толстого кишечника осуществляет биосинтез некоторых биологически активных веществ (например, витаминов группы В и К).

К **выделительным органам** относятся почки, кожа, потовые, слюнные железы, легкие. Функции почек многообразны:

1. Участие в регуляции водного баланса организма.
2. Участие в постоянстве ионного баланса.
3. Регуляция осмотического давления во внутренней среде организма.
4. Поддержание кислотно-щелочного равновесия и др.

Основная функция почек — удаление из организма вредных и чужеродных для него веществ путем образования и выведения мочи. Почки каждую минуту пропускают более 1 л крови, а всего ими за сутки фильтруется и очищается 1700 л крови. Моча выделяется в количестве 1–1,5 л/сутки. В норме у здорового человека моча содержит только вредные продукты метаболизма и не должна содержать глюкозу и белок.

Наряду с нервной регуляцией функций, в организме человека существует гуморальная (гормональная) регуляция с помощью биологически активных веществ — гормонов. Нервная и гуморальная регуляция функций в организме взаимосвязаны. Гормоны в организме человека влияют на следующие процессы: 1) обмен веществ и энергии; 2) рост и развитие; 3) размножение; 4) адаптация.

**Гормоны** — это биологически активные вещества, вырабатываемые специальными железами внутренней секреции, не имеющими специальных протоков. Они поступают прямо в кровь и регулируют функции органов-мишеней. Все железы внутренней секреции делятся на центральные и периферические. К центральным железам относятся гипофиз и эпифиз. Гипоталамус как структура промежуточного мозга также выделяет вещества, обладающие гормональной активностью. Периферическими железами являются щитовидная, половые, поджелудочная, надпочечники и тимус.

**Нервная система** обеспечивает взаимодействие организма с внешней средой и регулирует работу всех органов и систем организма. Она подразделяется на соматическую и вегетативную, а они, в свою очередь, на центральную и периферическую. Центральная нервная система состоит из спинного и головного мозга. Структурно-функциональ-

ной единицей нервной системы является нервная клетка — **нейрон**. *Соматическая* нервная система обеспечивает чувствительную и двигательную функции, а *вегетативная* — иннервирует все внутренние органы и железы, обеспечивая регуляцию питания, дыхания, выделения, размножения.

Особый раздел физиологии занимается изучением материальных основ психической деятельности человека. Он появился благодаря работам И. М. Сеченова и И. П. Павлова, создавших учение о безусловных и условных рефлексах как двух различных форм поведения человека. *Безусловные рефлексы* — видовые, генетически закрепленные, стереотипные формы поведения человека. Они возникают сразу, не нуждаются в выработке (например, врожденные пищевые и оборонительные рефлексы). *Условные рефлексы* — индивидуально приобретенные в процессе жизни и обучения приспособительные реакции, возникающие на основе образования временной связи между условным раздражителем и безусловным рефлекторным актом. Данный раздел науки изучает такие сложные проявления психики человека, как сознание, внимание, память, эмоции, мышление и др. Это высшие психические функции.

**Сознание** — это высшая форма отражения мозгом человека окружающего мира, передаваемая другим людям в форме слов и символов. Особенностью психических функций человека является наличие речи, или второй сигнальной системы. Это особые условные рефлексы, вырабатываемые на слово (первая сигнальная система — это конкретные образы окружающего мира). **Слово** — это обобщающий сигнал, заменяющий конкретный предмет, явления. Поэтому И. П. Павлов слово обозначил как «сигнал сигналов», или второй сигнальной системой. У человека благодаря второй сигнальной системе формируется абстрактно-логическое мышление. **Речь** — это исторически сложившаяся форма общения людей с помощью символов и знаков.

Благодаря высшей нервной деятельности (ВНД) у человека функционируют внимание, память, мышление. *Внимание* — это сосредоточенность, избирательная, познавательная направленность процессов, нацеленная на определенный объект, значимый в данный момент. *Память* — способность мозга запоминать, хранить и воспроизводить полученную информацию. *Мышление* — сложнейший вид

мозговой деятельности человека в процессе приспособления к новым условиям и решения новых жизненных задач.

## 16.2. Эмоции и творчество

Ничто — ни слова, ни мысли ни даже  
поступки наши, не выражают так ясно  
и верно нас самих, как наши чувствования;  
в них сложен характер не отдельной мысли,  
не отдельного решения, а всего содержания  
души нашей.

*К. Д. Ушинский.*

Деятельность человека по удовлетворению своих разнообразных потребностей сопровождается проявлениями его активности в виде эмоциональных переживаний. **Эмоции** — особый класс субъективных психологических состояний человека, отражающих в форме непосредственных переживаний процесс и результат практической деятельности, направленной на удовлетворение его актуальных потребностей. Эмоции, утверждал Ч. Дарвин, возникли в процессе эволюции как средство, при помощи которого живые существа устанавливают значимость тех или иных условий для удовлетворения актуальных для них потребностей. Эмоции играют в деятельности людей мобилизационную, интегративно-защитную, коммуникативную роль. Основные эмоциональные состояния, которые испытывает человек, делятся на собственно эмоции, чувства и аффекты. Формой эмоциональных переживаний является удовольствие, получаемое от удовлетворения потребностей, и неудовольствие, связанное с невозможностью это сделать при обострении соответствующей потребности. Чувства — высший продукт культурно-эмоционального развития человека, которые обычно возникают в ответ на воздействие отдельных свойств окружающей среды. Они соотносятся с восприятием и оценкой сложных предметов, событий, людей, ситуаций. Проявление сильного и устойчивого положительного чувства к чему-либо или к кому-нибудь называется страстью. Устойчивые чувства умеренной или слабой силы, действующие в течение длительного времени, именуются настроениями. Аффекты — это выраженные эмоциональные состояния, сопровождаемые видимыми из-

менениями в поведении человека, который их испытывает. Аффект не предшествует поведению, а как бы сдвинут на его конец. Аффекты, как правило, препятствуют нормальной организации поведения, его разумности. Одним из наиболее распространенных в наши дни видов аффектов является стресс. Он представляет собой состояние чрезмерно сильного и длительного психологического напряжения, которое возникает у человека, когда его нервная система получает эмоциональную перегрузку. Стресс дезорганизует деятельность человека, нарушает нормальный ход его поведения.

Эмоция — это реакция всей личности (включая организм) на те ситуации, к которым она не может адаптироваться, и имеет преимущественно функциональное значение. Так, эмоция вызывает нарушение памяти, навыков и вообще замену трудных действий более легкими. Эмоция соответствует такому снижению уровня адаптации, которое наступает, когда мотивация является слишком сильной по сравнению с реальными возможностями субъекта. Эмоция — это страх, гнев, горе, иногда радость, особенно чрезмерная радость. Существует оптимум мотивации, за пределами которого возникает эмоциональное поведение. С усилением мотивации повышается качество исполнения, но до определенного предела: если она слишком велика, исполнение ухудшается. Эмоция возникает часто потому, что субъект не может или не умеет дать адекватный ответ на стимуляцию. Конфликты являются главной причиной эмоций тогда, когда субъект не может легко найти решение. Эмоции способны мобилизовать человека, компенсировать недостаточность информации, недостаточность возможностей человека для решения проблемы.

Творчество как процесс создания чего-то нового часто предполагает, что человек может испытывать недостаточность информации, знаний, умений для достижения цели и решения той или иной проблемы. Поэтому ему необходимо сделать рывок в неизведанное, создать новые знания, умения, новые объекты и произведения. Эмоции, вдохновение, воображение помогают сделать этот «рывок в творчество». *Творчество* имеет место там, где воображение свободно от оков логики за счет эмоций. Выделяют четыре стадии творческого процесса: подготовка, созревание, вдохновение, проверка найденного решения. Научное творчество, и особенно творчество в искусстве, опирается на воображение, которое,

в свою очередь, неразрывно связано с эмоциями и чувствами человека. *Воображение* является психическим процессом, заключающимся в создании новых образов, представлений, полученных в предшествующем опыте. Видом творческого воображения, связанного с осознанием желаемого будущего, является мечта. Творческое мышление не тождественно интеллекту и имеет следующие отличительные черты:

- 1) оно оригинально, т.е. оно порождает неожиданные, небанальные, непривычные решения;
- 2) подвижно, т.е. для творческого мышления не составляет труда перейти от одного аспекта проблемы к другому, не ограничиваясь одной единственной точкой зрения;
- 3) пластично, т.е. творческие люди предлагают множество решений в тех случаях, когда обычный человек может найти лишь одно или два.

### 16.3. Здоровье и работоспособность

Достойно ль смириться под ударом судьбы  
Иль надо оказать сопротивление  
И в смертной схватке с целым морем бед  
Покончить с ними?

*В. Шекспир («Гамлет»)*

Здоровье человека во многом связано с эволюционно-экологическими основами его психофизической деятельности. Ритмы жизни, урбанизация, миграция, современные биосферно-ноосферные экологические изменения в целом предъявляют к людям новые требования.

Французский биолог и медик К. Бернар выдвинул идею единства здоровья и болезни и, по существу, обосновал учение о гомеостазе. Учение о гомеостазе основано на убеждении единства здоровья и болезни. Здоровье и болезнь — это два качественно различных феномена, которые могут сосуществовать в индивидууме. Сам организм, его центральная нервная система может быть организатором патологических процессов. Самоорганизация патологического процесса есть организация адаптивной программы в экстремальных, аварийных условиях среды, а патология есть организованный вариант выживания на основе видовой программы приспособления вида. В экстремальных условиях (в случае перегрузки, травмы, инфекции, интоксикации и др.) видовая

аварийная программа реализуется в том, что существенно сокращается внешняя работа и все резервы направляются на развитие новых внутренних функциональных морфологических механизмов сохранения жизнеспособности, выживания, выздоровления. Такая перестройка организма относительно обычной здоровой жизнеспособности оценивается как нечто внешнее, как болезнь. Значит, реакция организма на вредно действующие на него факторы внешней среды и составляет сущность больной жизни.

К наиболее известным вирусным заболеваниям человека относятся: грипп, оспа, клещевой энцефалит, СПИД, а основными бактериальными заболеваниями являются туберкулез, гонорея, холера, тиф и др. ВИЧ-инфекция связана с нарушением иммунной системы и передается следующими путями: половым, использованием загрязненных медицинских инструментов, от матери — ребенку, через кровь.

Необходимо четко разграничивать здоровье отдельно человека и здоровье популяции. *Здоровье индивида* есть динамический процесс сохранения и развития его социально-природных, биологических, физиологических и психических функций, социально-трудовой, социокультурной и творческой активности при максимальной продолжительности жизненного цикла. *Здоровье популяции* представляет собой процесс долговременного социально-природного, социально-исторического и социокультурного развития жизнеспособности и трудоспособности человеческого коллектива в ряду поколений. Здоровье популяции и индивида является необходимой предпосылкой интеллектуального здоровья человека, полноценной реализации его творческих возможностей.

Можно выделить три важнейшие функции популяционного здоровья:

- 1) конкретный живой труд в ходе производственной деятельности, которая совершается работающими индивидами внутри данной популяции;
- 2) социально-биологическое воспроизводство последующих поколений;
- 3) воспитание и обучение последующих поколений.

Кратко понятие «здоровье» можно сформулировать как состояние полного физического, умственного и социального благосостояния. Запас жизненной энергии у людей разный. Когда организм переживает состояние стресса, все его жизненно важные системы подвергаются перенапря-

жению, будь то сердце, почки, желудок и другие органы. Они выходят из строя в зависимости от того, какой из них наиболее уязвим для каждого конкретного человека. Факторами, выводящими их из строя, являются алкоголь, курение, наркотики, злоупотребление лекарствами, неправильное питание, одиночество, низкий образовательный и культурный уровень. В частности, алкоголь разрушает нервные клетки головного мозга, вызывает цирроз печени, гастрит, язву и рак желудка, жировое перерождение сердца. Никотин ухудшает кровообращение мозга, разрушает зубы, нарушает обмен веществ, снижает половые функции. Неверным является предположение о том, что после того, как они подверглись действию чрезвычайных раздражителей, отдых может им вернуть прежнее состояние и силы. Попытка избежать всех форм стресса — также не выход из положения. Исследования показали, что сокращение активности тоже ведет к сокращению жизни.

Когда человек не справляется с критическими стрессовыми состояниями, его мозг или организм обязательно выходят из строя. Заболевание ударит по самым уязвимым местам нашего организма, по тем органам, которые оказались повышено чувствительными в результате перенесенных детских заболеваний, наследственной предрасположенности или состояния нервной системы. Чтобы противостоять болезням и сохранить состояние здоровья организма, необходимо стараться избегать факторов, ведущих к эмоциональному перенапряжению, например избегать шума. Подобно тому как мрачные мысли могут вывести организм из строя, так светлые и добрые помогут сохранить наилучшее здоровье. Свежий воздух, солнечный свет, умеренность, отдых, физические упражнения, вода и правильное питание — необходимые факторы здоровья и долголетия. Деятельность — закон всего нашего существования, бездеятельность — причина болезней. Чтобы избежать болезни, необходимо держать себя в хорошей физической форме. Среди физически пассивных людей инфаркт миокарда встречается в два раза чаще, чем среди людей физически активных.

Мало кто реально представляет себе, какую роль играет вода в нашей жизни. На 50—65% человеческий организм состоит из воды. В среднем человек должен выпивать минимум 6 стаканов воды ежедневно. Распланируйте питье воды таким образом: два стакана сразу после подъема ут-

ром, два — в середине дня, между завтраком и обедом, и два стакана во второй половине дня.

Для нормального функционирования наш организм нуждается в правильном питании. Чрезмерное употребление соли может привести к серьезным проблемам, в частности к повышению кровяного давления. Повышенное потребление сахара пагубно влияет на состояние зубов, увеличивает уровень холестерина в крови, что может привести к заболеваниям сердца, к нарушению работы клеток мозга и снижению устойчивости к инфекционным заболеваниям. Доказано не только то, что вегетарианская диета действует наравне с мясной, но и то, что во многих отношениях она значительно лучше. Здоровье — это количество резервов в организме, это максимальная производительность органов при сохранении качественных пределов их функций. Секрет долголетия кроется в следующих условиях жизни: закаленное тело, здоровые нервы и хороший характер, правильное питание, климат, ежедневный труд. С точки зрения современной науки имеются восемь важнейших условий правильного образа жизни:

1) труд — важнейшее условие физиологического благополучия;

2) нормальный сон является средством восстановления работы клеток мозга;

3) доброе настроение и положительные эмоции обеспечивают доброжелательное отношение к другим людям, юмор, оптимизм;

4) весьма существенным условием является рациональное питание как по качеству и количеству, так и по режиму потребления;

5) важное условие — исключение из потребления алкоголя и никотина;

6) соблюдение режима, т.е. выполнение определенной деятельности организма в определенное время, что приводит к образованию условных рефлексов на время;

7) закаливание организма понимается как процесс приспособления организма к неблагоприятным внешним воздействиям;

8) физические упражнения, достаточный объем двигательной активности являются важнейшим элементом правильного образа жизни.

Работоспособность обуславливает возможности организма при выполнении работы поддерживать структуры



и энергозапасы на заданном уровне. В соответствии с двумя основными типами работы — физической и умственной — различают физическую и умственную работоспособность. Работоспособность зависит от текущего уровня здоровья, самочувствия человека, от типологических свойств нервной системы, индивидуальных особенностей функционирования психических процессов (памяти, мышления, внимания, восприятия), от оценки человеком значимости и целесообразности мобилизации определенных ресурсов для выполнения определенной деятельности. В процессе выполнения работы человек проходит через различные фазы работоспособности. Фаза мобилизации характеризуется предстартовым состоянием. При фазе вработываемости могут быть сбои, ошибки в работе, постепенно происходит приспособление организма к наиболее экономному, оптимальному режиму выполнения данной конкретной работы. Фаза оптимальной работоспособности (или фаза компенсации) характеризуется оптимальным, экономным режимом работы организма и хорошими, стабильными результатами, максимальной производительностью и эффективностью труда. Затем, во время фазы неустойчивости компенсации, происходит своеобразная перестройка организма: необходимый уровень работы поддерживается за счет ослабления менее важных функций, дополнительных физиологических процессов, менее выгодных энергетически и функционально. При выходе за пределы работоспособности после фазы неустойчивой компенсации наступает фаза декомпенсации, сопровождающаяся прогрессирующим снижением производительности труда, появлением ошибок, выраженными вегетативными нарушениями: учащением дыхания, пульса, нарушением координации.

Первый этап — вработывание — приходится, как правило, на первый час от начала работы. Второй этап — устойчивой работоспособности — длится последующие 2–3 ч, после чего работоспособность вновь снижается. В течение недели отмечаются те же три этапа. В понедельник человек проходит стадию вработывания, во вторник, среду и четверг имеет устойчивую работоспособность, а в пятницу и субботу у него развивается утомление. Утомление не разрушает организм, а поддерживает его. При этом происходят восстановительные процессы, «текущий ремонт» органов и тканей.

Начиная с фазы неустойчивой компенсации, возникает специфическое состояние утомления. Различают физиоло-

гическое и психическое утомление. Первое из них отражает воздействие на нервную систему продуктов разложения, освобождающихся в результате двигательного-мускульной деятельности, а второе — состояние перегруженности самой центральной нервной системы. Психическое утомление, т.е. ощущение усталости, как правило, предшествует утомлению физиологическому. После прекращения работы наступает фаза восстановления физиологических и психологических ресурсов организма. В случае неполного восстановительного периода сохраняются остаточные явления утомления, которые могут накапливаться, приводить к хроническому переутомлению различной степени выраженности. В состоянии переутомления длительность фазы оптимальной работоспособности резко сокращается, снижается умственная работоспособность.

## Выводы

1. *Физиология* человека изучает жизнедеятельность здорового человека, функции составных частей его организма: клеток, тканей, органов, систем, а также регуляцию функций кровеносной, лимфатической, дыхательной, пищеварительной, выделительной, нервной систем, обмена веществ и энергии, желез внутренней секреции и др.

2. *Здоровье* — это состояние полного физического, умственного и социального благополучия человека. Оно во многом связано с эволюционно-экологическими основами его психофизической деятельности. Здоровье и болезнь — это два качественно различных феномена, которые могут сосуществовать в индивидууме. Свежий воздух, солнечный свет, умеренность, отдых, физические упражнения, вода и правильное питание — необходимые факторы сохранения здоровья и долголетия.

3. *Работоспособность* обуславливает возможности организма при выполнении работы поддерживать структуры и энергозапасы на заданном уровне. С точки зрения работоспособности здоровье — это количество резервов в организме, максимальное функционирование органов при сохранении качественных пределов их функций.

4. *Эмоции* — особый класс субъективных психологических состояний человека, отражающих в форме непосредственных переживаний результаты практической деятельности и направленных на удовлетворение его актуальных потребностей. Они возникают лишь тогда, когда осуществ-

вление инстинктивных действий, привычных и произвольных форм поведения наталкивается на препятствия, к которым человек не может адаптироваться.

5. *Творчество* — это процесс создания человеком нового, при котором он, хотя и испытывает недостаточность информации, знаний, умений для достижения цели и решения той или иной проблемы, делает рывок в неизведанное, создает новые знания, умения, новые объекты и произведения.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Люди дурные живут для того, чтобы есть  
и пить, люди добродетельные едят и пьют  
для того, чтобы жить.

*Сократ*

### План семинара

1. Физиология человека.
2. Характеристика систем органов человека.
3. Эмоции и творчество.
4. Здоровье и работоспособность.

## Методические указания и упражнения

### Основные понятия

**Физиология** — наука о жизнедеятельности здорового организма, функциях его составных частей: клеток, тканей, органов, систем.

**АТФ (аденозинтрифосфат)** — универсальный источник энергии в организме человека.

**Метаболизм** — процессы обмена веществ, происходящие в организме человека на клеточном и тканевом уровнях и состоящие из анаболизма и катаболизма.

**Анаболизм** — процесс биосинтеза органических веществ.

**Катаболизм** — процесс расщепления или окисления сложных молекул до простых.

**Гомеостаз** — динамическое постоянство параметров внутренней среды организма.

**Эмоции** — субъективные психологические состояния человека, направленные на удовлетворение его актуальных

потребностей. Они бывают в виде аффектов, чувств, удовольствий.

**Здоровье** — динамический процесс сохранения и развития физиологических, психических, биологических, социальных функций и активности организма.

**Параметры современного стандартного человека:**

Рост — 170 см, масса тела — 70 кг, поверхность тела —  $1,8 \text{ м}^2$ , продолжительность жизни — 70 лет, количество костей — 206, количество мышц  $> 400$ .

Параметры современного человека представлены в табл. 16.1 и 16.2.

Таблица 16.1

**Распределение массы по органам**

Вес тела	Масса тела 70 кг	100%
Мускулатура	30	43
Скелет	10	14,3
Жировая ткань	10	14,3
Кожа и подкожная клетчатка	6,1	8,7
Кровь	5,4	7,7
Желудочно-кишечный тракт	2	2,9
Печень	1,7	2,4
Мозг	1,5	2,1
Легкие	1	1,4
Сердце	0,3	0,42
Почки	0,25	0,35
Селезенка	0,15	0,2
Мочевой пузырь	0,15	0,2
Поджелудочная железа	0,07	0,1
Яичник (2)	0,04	0,06
Яичник	0,005—0,006	0,008
Спинной мозг	0,03	0,04
Глаза (2)	0,03	0,04
Щитовидная железа	0,02	0,03
Зубы	0,02	0,03
Предстательная железа	0,02	0,03
Остальное (кровеносные сосуды, хрящи, нервы и т.д.)	1,22	1,7

Таблица 16.2

**Состав внутренней среды тела**

Среда	Масса, кг	100%
Вода	40—46	57—66
Белок	10	14
Жир	7	10
Углеводы	0,7	1
Зола	3,5	5

**Тестовые задания**

- Основной компонент трудовой деятельности человека:
  - психический;
  - химический;
  - географический;
  - физический.
- Стресс как состояние напряжения человека:
  - возникает под влиянием сильных воздействий;
  - оказывает положительное действие;
  - оказывает отрицательное действие;
  - иногда запускает биологическую программу — агрессию;
  - передается по наследству.
- Факторы, не нарушающие здоровье человека:
  - неправильное питание;
  - переохлаждение и перегревание организма;
  - гиподинамия и травмы;
  - облучение ультрафиолетовыми и рентгеновскими лучами;
  - лечебная физкультура и массаж.
- Будучи биологическим видом по своему происхождению, строению и функционированию организма, человек отличается от всех других существ на Земле:
  - изготовлением и использованием орудий труда;
  - двигательной активностью;
  - рациональным питанием;
  - воздействием на окружающую среду.
- Кровь в организме человека не осуществляет:
  - транспортировку питательных веществ и кислорода;
  - гуморальную регуляцию;

- в) терморегуляцию;
  - г) поддержания постоянства внутренней среды организма;
  - д) передачу нервных импульсов.
6. ВИЧ-инфекции не передаются путем:
- а) половым;
  - б) использованием загрязненных медицинских инструментов;
  - в) от матери — ребенку;
  - г) через кровь;
  - д) воздушно-капельным.
7. Факторы, оказывающие влияние на развитие эмбриона человека:
- а) загрязнение окружающей среды;
  - б) лекарства, наркотики и препараты бытовой химии;
  - в) недостаток питания и дефицит воды;
  - г) инфекционные заболевания;
  - д) положительные эмоции, благоприятная атмосфера в семье.
8. Воздействие никотина на организм человека не проявляется:
- а) в ухудшении кровообращения мозга;
  - б) разрушении зубов;
  - в) нарушении обмена веществ;
  - г) снижении половых функций;
  - д) устойчивости к заболеваниям.
9. Все адаптации у живых организмов возникают в ходе эволюции в результате:
- а) естественного отбора;
  - б) миграции;
  - в) регуляции своей жизнедеятельности;
  - г) действия мутационного процесса;
  - д) акта божественного творения.
10. Прекращение обмена генами между популяциями близкородственных видов являются генетической(им):
- а) изоляцией;
  - б) миграцией;
  - в) регуляцией;
  - г) грузом;
  - д) дрейфом.

11. К вирусным заболеваниям человека не относится:  
а) грипп;  
б) оспа;  
в) клещевой энцефалит;  
г) сифилис.
12. К заболеваниям человека бактериальной природы не относится:  
а) туберкулез;  
б) гонорея;  
в) холера;  
г) тиф;  
д) оспа.
13. Вирус иммунодефицита человека поражает клетки крови:  
а) Т-лимфоциты;  
б) эритроциты;  
в) тромбоциты;  
г) В-лимфоциты;  
д) макрофаги.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. В чем сущность концепции о системе крови и кровообращения?
2. Каковы функции системы органов пищеварения?
3. Что такое метаболизм, анаболизм и катаболизм?
4. Какова основная функция почек?
5. Какими свойствами обладают гормоны? Какова их роль в организме?
6. Что такое нейрон?
7. Что изучает высшая нервная деятельность?
8. Покажите различные подходы к пониманию термина «биоэтика».
9. В чем состоит основное противоречие в трактовке единства феноменов здоровья и болезни?
10. Можно ли говорить о количестве здоровья и чем оно измеряется?
11. Назовите различные фазы работоспособности.

### Тематика рефератов

1. Роль среды и наследственности в формировании человека.

2. Мозг и высшая нервная деятельность.
3. Биосоциальные основы поведения.
4. Стресс и тренировка.
5. Устройство памяти. Воспроизводство и передача информации в организме.
6. Здоровый образ жизни человека.
7. Причины болезни организма.

### Литература

1. Концепции современного естествознания / под рук. С. А. Самыгина. — Ростов н/Д : Феникс, 1997.
2. *Тейяр де Шарден*. Феномен человека. — М., 1973.
3. *Тинберген, Н.* Социальное поведение животных. — М., 1992.
4. *Фрейд, З.* Психология бессознательного. — М., 1989.
5. *Шарден, П. Т.* Феномен человека. — М. : Прогресс, 1987.



## Глава 17

# УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ

### 17.1. Биосфера

Во всем подслушать жизнь стремясь,  
спешат явления обездушить,  
забыв, что если в них нарушить  
одушевляющую связь,  
то больше нечего и слушать.

*Гете*

**Биосфера** — совокупность всех живых организмов вместе со средой их обитания, в которую входят: вода; нижняя часть атмосферы; верхняя часть земной коры, населенная микроорганизмами. Живые организмы и среда обитания непрерывно взаимодействуют между собой и находятся в тесном, органическом единстве, образуя целостную динамическую систему. Биосфера как глобальная суперсистема, в свою очередь, состоит из ряда подсистем.

Под биосферой Вернадский понимал тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под прямым воздействием живых организмов. Биосфера располагается на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы в диапазоне от 10 км вглубь Земли до 30 км над Землей.

Живые организмы, включающие в себя все известные химические элементы, в процессе жизнедеятельности осуществляют превращение энергии. Основные выводы учения Вернадского о биосфере сводятся к следующему:

1. Принцип целостности утверждает, что биосфера, жизнь существует как единое целое. Жизнь является необходимой и закономерной частью стройного космического механизма.

2. Принцип гармонии биосферы заключается в ее организованности, стройности, неразрывной связи в ней живых и неживых компонентов.

3. Принцип значимости роли живого в эволюции Земли. На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а тем более могущественней по своим конечным последствиям, чем организмы, взятые в целом. Лик Земли как небесного тела фактически сформирован жизнью.

4. Принцип трансформации солнечной энергии в действенную энергию Земли. Космическая энергия обуславливает развитие жизни, которое достигается размножением.

5. Принцип инерции заключается в распространении жизни по земной поверхности из-за проявления ее геохимической энергии. Мелкие организмы размножаются гораздо быстрее, чем крупные.

6. Принцип бережливости в использовании живым веществом простых химических тел утверждает, что однажды вошедший в организм элемент проходит длинный ряд состояний и при этом организм вводит в себя только необходимое количество элементов.

7. Пределы жизни определяются физико-химическими свойствами соединений, строящих организм, их неразрушимостью в определенных условиях среды. Максимальное поле жизни определяется крайними пределами выживания организмов. Верхний предел жизни обуславливается лучистой энергией, присутствие которой исключает жизнь и от которой предохраняет озоновый щит. Нижний предел связан с достижением высокой температуры. Например, интервал температуры жизни в  $430^{\circ}$  (от  $-250^{\circ}\text{C}$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ ) является предельным тепловым полем.

8. Принцип устойчивости жизни есть результат приспособленности в ходе времени. Жизнь постепенно, медленно приспособляясь, захватила биосферу, и захват этот не закончился. Биосфера, по В.И. Вернадскому, — это «организованная, определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью». Пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни. Биосфера — не просто одна из существующих оболочек Земли, подобно литосфере, гидросфере или атмосфере. Основное отличие биосферы состоит в том, что это организованная оболочка. Быть живым — значит быть организованным, отмечал В.И. Вернадский, и в этом состоит суть понятия биосферы как организованной оболочки Земли.

По В.И. Вернадскому, вещество биосферы разнородно по своему физико-химическому составу, а именно:

- 1) живое вещество как совокупность живых организмов;
- 2) биогенное вещество — непрерывный биогенный поток атомов из живого вещества в косное вещество биосферы и обратно;
- 3) косное вещество (атмосфера, газы, горные породы и пр.);
- 4) биокосное вещество, например почвы, илы, поверхностные воды и сама биосфера, т.е. сложные закономерные косно-живые структуры;
- 5) радиоактивное вещество;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещество космического происхождения.

Хотя границы биосферы довольно узки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности Земли, в почве и в приповерхностном слое океана. Общую массу живых организмов оценивают в  $2,43 \cdot 10^{12}$  т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена зелеными растениями и 0,8% — животными и микроорганизмами. Напротив, в океане на долю растений приходится 6,3%, а на долю животных и микроорганизмов — 93,7% всей биомассы. Суммарная биомасса океана составляет всего  $0,03 \cdot 10^{12}$ , или 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле. В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов 21% приходится на растения, но их вклад в общую биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов — беспозвоночные и только 4% — позвоночные, из которых десятая часть — млекопитающие. Масса живого вещества составляет всего 0,01–0,02% от косного вещества биосферы, однако она играет ведущую роль в геохимических процессах. Вещества и энергию, необходимую для обмена веществ, организмы черпают из окружающей среды. Ограниченные количества живой материи восстанавливаются, преобразуются и разлагаются. Ежегодно благодаря жизнедеятельности растений и животных воспроизводится около 10% биомассы. Кроме растений и животных, В. И. Вернадский включает в понятие живое вещество и человечество, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных живых существ, *во-первых*, своей интенсивностью, увели-

чивающейся с ходом геологического времени; *во-вторых*, тем воздействием, какое деятельность людей оказывает на остальное живое вещество.

Жизнь на Земле ныне полностью зависит от фотосинтеза. Фиксируя энергию солнечного света в продуктах фотосинтеза, растения выполняют космическую роль — энергетического очага на Земле. Под **фотосинтезом** понимается превращение зелеными растениями и фотосинтезирующими микроорганизмами при участии энергии света и поглощающих свет пигментов (хлорофилл и др.) простейших соединений (воды, углекислого газа и минеральных элементов) в сложные органические вещества, необходимые для жизнедеятельности всех организмов. Ежегодно растения образуют до 100 млрд т органических веществ и фиксируют  $9 \cdot 10^{20}$  Дж энергии солнечной радиации. При этом растения усваивают из атмосферы до 170 млрд т углекислого газа и разлагают до 130 млрд т воды, выделяя до 115 млрд т свободного кислорода.

Таким образом, все биотические компоненты экосистемы (табл. 17.1) разделены на три основные группы: *продуценты* (зеленые растения и организмы, могущие использовать химическую энергию — хемосинтетики), *консументы*, или потребители (могут быть нескольких трофических уровней), и *редуценты*, или разрушители (организмы, преобразующие, минерализующие органику и тем самым замыкающие биологический круговорот). Все живые организмы, так или иначе используя друг друга, образуют гигантский биологический круговорот биосферы. Этот круговорот не полностью замкнут: кроме энергетического входа (солнечная энергия) он имеет и выход — часть отмирающего органического вещества после разложения микроорганизмами-минерализаторами может попадать в водные растворы и откладываться в виде осадочных пород, а другая часть образует отложения таких биогенных пород, как каменный уголь, торф, сапропель и т.п.

В этом большом биогеохимическом круговороте вещества и энергии выделяется целый ряд частных круговоротов веществ — воды, углерода, кислорода, азота, серы, фосфора и других, в ходе которых происходит обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой. Существование этих биогеохимических круговоротов определяет облик современных экосистем, устойчивость и саморегуляцию биосферы в целом. Поэтому как бы сложны и многообразны ни были проявления жиз-

ни на Земле, все формы жизни связаны между собой через круговорот вещества и энергии.

Таблица 17.1

**Факторы: абиотические, биотические, антропогенные**

Абиотические	Биотические	Антропогенные
Температура, свет, влага, ветер, воздух, давление. Механический состав почвы, ее проницаемость, влага. Содержание в почве или воде элементов питания, газовый состав, соленость воды	Влияние растений на других членов биоценоза. Влияние животных на других членов биоценоза	Возникают в результате деятельности человека: постройка дамб, посадка деревьев, орошение, вырубка лесов и т.д.

*Примечание.* Абиотический фактор — фактор неорганической среды, биотический фактор — влияние живых существ.

В этой связи можно выделить три этапа эволюции биосферы. *Первый* этап — возникновение биотического круговорота, означавшего формирование биосферы. *Второй* этап — усложнение жизни на планете, обусловленное появлением многоклеточных организмов. *Третий* этап — формирование человеческого общества, оказывающего своей хозяйственно-экономической деятельностью все большее влияние на эволюцию биосферы (ноосфера). Попытки выделить основные этапы эволюции биосферы заслуживают внимания уже тем, что ставят эту проблему в качестве одной из важных задач современной эволюционной теории.

## 17.2. Экология

И пусть у гробового входа  
Младая будет жизнь играть,  
И равнодушная природа  
Красою вечною сиять.

А. С. Пушкин

Термин «экология» (греч. «ойкос» — жилище) предложен в 1866 г. немецким биологом Э. Геккелем для обозначения специальной биологической науки об организмах «у себя дома», т.е. о взаимоотношениях организмов, в первую очередь диких, и среды их обитания. Примерно

с 60-х гг. XX в. под **экологией** (наукой об окружающей среде) стали понимать науку о различных аспектах взаимодействия организмов между собой и с окружающей средой. Экология изучает организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, сообществ, экосистем.

Экология изучает взаимодействие организмов с окружающей средой, создавая целостную картину на основе всей доступной информации. При этом термодинамический подход играет одну из ведущих ролей. Экология сформировалась в принципиально новую интегрированную дисциплину, связывающую физические и биологические явления и образующую мост между естественными и общественными науками.

Если учение о биосфере подняло биологию с уровня отдельных видов к целостности высшего порядка, то экология изучает различные уровни целостности, промежуточные между организмами (т.е. на уровне организмов) и глобальным. Экология показала, что живой мир — не совокупность живых существ, а единая система, связанная множеством цепочек обитания и иных взаимоотношений. Если даже небольшая часть его погибнет, погибнет и все остальное.

К важным выводам экологии, отмечавшимся еще Вернадским, можно отнести следующие:

1) каждый организм может существовать только при условии постоянной тесной связи со средой, т.е. с другими организмами и неживой природой;

2) жизнь со всеми ее проявлениями привела к глубоким изменениям на нашей планете. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространялись по планете, стимулируя перераспределение энергии и веществ;

3) размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается равновесие. Численность их колеблется вблизи равновесного уровня.

**Принцип равновесия** играет в живой природе огромную роль. Равновесие существует между видами, и смещение его в одну сторону, скажем, уничтожение хищников, может привести к исчезновению жертв, у которых не будет хватать пищи. Естественное равновесие существует также между организмом и окружающей его неживой средой. Великое множество равновесий поддерживают общее равновесие в природе.

В экосистемах необходим период эволюционного приспособления к условиям среды, который называется **адаптацией**.

В экологии наибольшее значение для изучения структуры ее систем приобретает анализ тех трофических, или пищевых связей, которые соединяют различные популяции друг с другом. В экосистеме можно выделить два уровня:

- на верхнем, *автотрофном*, уровне, который называют также зеленым поясом, мы встречаемся с растениями, содержащими хлорофилл и перерабатывающими солнечную энергию и простые неорганические вещества в сложные органические соединения. Автотрофными называют организмы, которые берут все нужные им для жизни химические элементы в биосфере из окружающей их материи и не требуют для построения своего тела готовых соединений другого организма;

- на нижнем, *гетеротрофном*, уровне происходит преобразование и разложение этих органических соединений в простые.

Таким образом, в механизме трофических связей можно выделить следующие элементы:

- *продуценты* автотрофных организмов, главным образом зеленых растений, которые могут производить пищу из простых неорганических веществ;

- *гетеротрофы* — организмы, питающиеся органическими веществами и к которым относятся фаготрофы и сапротрофы;

- *фаготрофы*, к которым принадлежат животные, питающиеся другими живыми организмами, растительными и животными;

- *сапротрофы*, получающие энергию путем разложения мертвых тканей или растворенного органического вещества.

Одна из характерных черт всех экосистем состоит в том, что в них происходит постоянное взаимодействие автотрофных и гетеротрофных подсистем организмов. Такое взаимодействие приводит к круговороту вещества в природе, несмотря на то, что иногда организмы разделены в пространстве. Автотрофные процессы наиболее интенсивно протекают в зеленом ярусе системы, где растениям доступен солнечный свет, в то время как на нижнем ярусе усиленно протекают гетеротрофные процессы.

Экологическая проблема с точки зрения ее генезиса воспроизводит ступени развития противоречия между природой и обществом как развития любого противоречия:

от единства и равновесия к дисгармонии и конфронтации. Исходя из характера взаимоотношений общества с природой и специфики формирующейся при этом социокультурной сферы, а также на основе анализа факторов ее функционирования и развития выделяют три периода в генезисе экологической проблемы:

I период — биогенный (адаптационный, собирательский, присваивающий).

II период — техногенный (частично преобразовательный): 1-й этап — аграрный; 2-й этап — индустриальный.

III период — ноосферный.

В экологическом отношении мы живем в условиях перехода от II этапа к III; некоторые авторы именуют нынешнее состояние взаимоотношений природы и общества «второй научно-технической» или «экологической» революцией.

### 17.3. Ноосфера

Одному только разуму, как мудрому попечителю, должно верить всю жизнь.

*Пифагор*

Огромное влияние человека на природу и масштабные последствия его деятельности послужили основой для создания учения о ноосфере. Термин «*ноосфера*» переводится буквально как *сфера разума*. Впервые его ввел в научный оборот в 1927 г. французский ученый Э. Леруа. Вместе с Тейяром де Шарденом он рассматривал ноосферу как некое идеальное образование, внебиосферную оболочку мысли, окружающую Землю.

Учение о ноосфере было сформулировано и в трудах В. И. Вернадского. В 20-е гг. XX в. в Париже на семинаре А. Бергсона русский ученый Владимир Иванович Вернадский заинтересовался идеей Тейяра де Шардена, французского палеонтолога и философа, рассматривавшего феномен человечества с точки зрения глобальной эволюционной перспективы. Тейяр мыслил в терминах отправного пункта эволюции, которая началась с появления элементарных частиц, привела к формированию молекул, клеток, многоклеточных организмов и, наконец, социальных групп. Он полагал, что следующей эволюционно-критической точкой станет появление коллективного человеческого



сознания, которое станет контролировать направление будущей эволюции биосферы. Он называл эту новую эволюционную фазу **ноосферой**. Переход к ноосфере был движением от биологической к психологической и духовной эволюции. Для Тейяра ноосфера была последовательным шагом в направлении развертывания и усложнения универсума.

Осознавая огромную роль и значение человека в жизни и преобразовании планеты, В. И. Вернадский употреблял понятие «ноосфера» в разных смыслах:

- как состояние планеты, когда человек становится крупнейшей преобразующей геологической силой;
- область активного проявления научной мысли;
- главный фактор перестройки и изменения биосферы.

Очень важным в учении В. И. Вернадского о ноосфере было то, что он впервые осознал и попытался осуществить синтез естественных и общественных наук при изучении проблем глобальной деятельности человека, активно перестраивающего окружающую среду.

По его мнению, ноосфера есть уже качественно иная, высшая стадия биосферы, связанная с коренным преобразованием не только природы, но и самого человека.

Итак, что же такое ноосфера: утопия или реальная стратегия выживания? Труды Вернадского позволяют более обоснованно ответить на поставленный вопрос, поскольку в них указан ряд конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы. Перечислим эти условия:

- 1) заселение человеком всей планеты;
- 2) резкое преобразование средств связи и обмена между странами;
- 3) усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли;
- 4) начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;
- 5) расширение границ биосферы и выход в космос;
- 6) открытие новых источников энергии;
- 7) равенство людей всех рас и религий;
- 8) увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;
- 9) свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построе-

ний и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;

10) продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и чрезвычайно ослабить болезни;

11) разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;

12) исключение войн из жизни общества.

Проследим, насколько выполняются эти условия в современном мире, и остановимся более подробно на некоторых из них.

1. Заселение человеком всей планеты. Это условие выполнено. На Земле не осталось мест, где не ступала бы нога человека. Он обосновался даже в Антарктиде.

2. Резкое преобразование средств связи и обмена между странами. Это условие также можно считать выполненным. С помощью радио, телевидения и Интернета мы моментально узнаем о событиях в любой точке земного шара. Средства коммуникации постоянно совершенствуются, ускоряются, появляются такие возможности, о которых недавно трудно было мечтать.

3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли. Это условие можно считать если не выполненным, то выполняющимся. Возникшая после Второй мировой войны Организация Объединенных Наций (ООН) оказалась устойчивой и действенной.

4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере. Это условие также можно считать выполненным, хотя именно преобладание геологической роли человека в ряде случаев привело к тяжелым экологическим последствиям. Объем горных пород, извлекаемых из глубин Земли всеми шахтами и карьерами мира, сейчас почти в два раза превышает средний объем лав и пеплов, выносимых ежегодно всеми вулканами Земли.

5. Расширение границ биосферы и выход в космос. В работах последнего десятилетия жизни Вернадский не считал границы биосферы постоянными. Он подчеркивал расширение их в прошлом как итог выхода живого вещества на сушу, появления высокоствольной растительности, ле-

тающих насекомых, а позднее летающих ящеров и птиц. В процессе перехода в ноосферу границы биосферы должно расширяться, а человек должен выйти в космос. Эти предсказания сбылись.

6. Открытие новых источников энергии. Условие выполнено, но, к сожалению, с трагическими последствиями. Атомная энергия давно освоена и в мирных, и в военных целях. Человечество (а точнее, политики) явно не готово ограничиться мирными целями, более того — атомная (ядерная) сила вошла в наш век прежде всего как военное средство и средство устрашения противостоящих ядерных держав.

7. Равенство людей всех рас и религий. Это условие если не достигнуто, то, во всяком случае, достигается. Решительным шагом для установления равенства людей различных рас и вероисповеданий было разрушение в конце прошлого века колониальных империй.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики. Это условие соблюдается во всех странах с парламентской формой правления.

9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли. Трудно говорить о выполнении этого условия в странах, где еще совсем недавно наука находилась под колоссальным гнетом определенных философских и политических построений. Сейчас наука от таких давлений свободна, однако из-за тяжелого экономического положения в российской науке многие ученые вынуждены зарабатывать себе на жизнь ненаучным трудом, а другие уезжают за границу. В развитых и даже развивающихся странах, как видно на примере Индии, Ирана, Пакистана, государство и общество создают режим максимального благоприятствования для свободной научной мысли.

10. Продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и чрезвычайно ослабить болезни. О выполнении этого условия трудно судить объективно. Однако Вернадский предупреждал, что процесс перехода биосферы в ноосферу не может происходить постепенно и однонаправленно, что на этом пути временные отступления неизбежны.

11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения. Это условие не может считаться выполненным, однако первые шаги в направлении разумного преобразования природы во второй половине XX в., несомненно, начали осуществляться. В современный период происходит интеграция наук на базе экологических идей. Вся система научного знания дает фундамент для экологических задач. Об этом также говорил Вернадский, стремясь создать единую науку о биосфере. Экологизация западного сознания происходила начиная с 1970-х гг., создавая условия для возникновения экофильной цивилизации. Сейчас экстремистская форма зеленого движения оказалась там уже не нужной, поскольку заработали государственные механизмы регулирования экологических проблем. В мировом масштабе для разрешения экологической проблемы при наблюдающемся росте населения планеты требуется способность решения глобальных проблем, что в условиях суверенитета различных государств кажется сомнительным.

12. Искключение войн из жизни общества. Это условие Вернадский считал чрезвычайно важным для создания и существования ноосферы. Но оно не выполнено и пока неясно, может ли быть выполнено. Мировое сообщество стремится не допустить мировой войны, хотя локальные войны еще уносят многие жизни.

Таким образом, мы видим, что налицо все те конкретные признаки, все или почти все условия, на которые указывал В. И. Вернадский, чтобы отличить ноосферу от существовавших ранее состояний биосферы. Процесс ее образования постепенный, и, вероятно, никогда нельзя будет точно указать год или даже десятилетие, с которого переход биосферы в ноосферу можно будет считать завершенным. Но, конечно, мнения по этому вопросу могут быть разные.

Сам Вернадский, замечая нежелательные, разрушительные последствия хозяйствования человека на Земле, считал их некоторыми издержками. Он верил в человеческий разум, гуманизм научной деятельности, торжество добра и красоты. Что-то он гениально предвидел, в чем-то, возможно, ошибался. Ноосферу следует принимать как символ веры, как идеал разумного человеческого вмешательства в биосферные процессы под влиянием научных достиже-

ний. Надо в нее верить, надеяться на ее пришествие, предпринимать соответствующие меры.

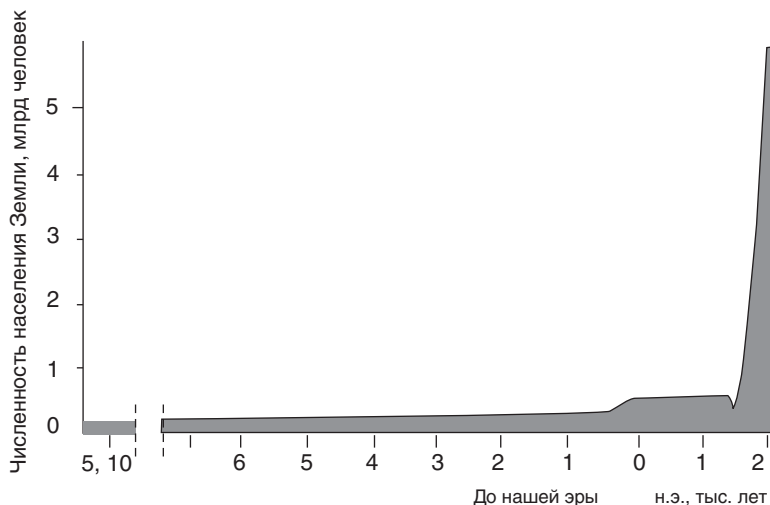
Тейяр и Вернадский дают две возможные интерпретации ноосферы. В первом случае ноосфера представляет собой тотальный образец мыслящих организмов и их активности. Во втором случае — это образец специфической жизненной среды, состоящей из систем организованной мысли и материальной культуры, среди которых живет человек. В предисловии к книге Тейяра де Шардена Дж. Хаксли называет первую ноосферой, а вторую — ноосистемой. Для Тейяра ноосфера была планетарным слоем сознания и духовности, который возникает из биосферных масс, обладающих жизнью субстанции. Для Вернадского ноосфера была прежде всего средой, в которой человечество будет способно к самореализации. Первая концепция сводит воедино материалистическую и идеалистическую интерпретации развития универсума. Вернадский же видит ноосферу преимущественно материалистически: как исторически неизбежную стадию в эволюционном развитии биосферы.

Основоположники учения о ноосфере верили, что человеческий разум, превращаясь в планетарную геологическую силу, приведет к упорядочению природной и социальной действительности, к более совершенным формам бытия. Как результат сознательного, планомерного преобразования биосферы, ее перехода в качественно новое состояние возникнет ноосфера. Вернадский и Шарден связывали этот процесс с социалистической ориентацией, расширяя задачи преодоления стихийности природы до преодоления стихийности в жизни общества. В некоторых контекстах ноосфера рассматривалась как полное устранение зла, как всеобщее благо (особенно в космических вариантах, например, у К. Э. Циолковского).

Современные тенденции развития, к сожалению, не свидетельствуют о приближении к ноосферному идеалу, они быстро ведут (в ряде случаев уже привели) к серьезным нарушениям (если не к полному уничтожению) природных экосистем. Наши нынешние отношения с окружающей средой весьма далеки от устойчивости.

В рамках экологии, поскольку сейчас наша цивилизация находится в процессе перехода от биосферы к ноосфере, когда разум становится определяющей силой общества, вполне естественно определить перспективы дальнейшего

развития мира. По оптимистическим прогнозам новые технологии будут безотходными, менее энергоемкими и более совершенными. Пессимисты считают, что из-за технологического и энергетического загрязнения мир идет к гибели. В связи с этим заслуживает внимания инициатива ученых и общественных деятелей, объединившихся в рамках Римского клуба, изучавших пределы роста и актуальные проблемы человечества. Они показали, что если потребление ресурсов и промышленный рост вместе с увеличением численности населения (рис. 17.1) будут продолжаться прежними темпами, то будет достигнут «предел роста», за которым последует катастрофа.



**Рис.17.1. Рост численности населения земного шара от палеолита до нашего времени**

## Выводы

1. Под *биосферой* Вернадский понимал тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под прямым воздействием живых организмов. Биосфера располагается на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы в диапазоне от 11 км вглубь Земли до 33 км над Землей.

2. Кроме растений и животных Вернадский включает сюда и человечество, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных живых существ, во-первых, своей интенсивностью, увеличивающейся с ходом геологического времени; во-вторых, тем воздействием, какое деятельность людей оказывает на остальное живое вещество.

3. *Экология* изучает взаимодействие организмов с окружающей средой, создавая целостную картину на основе всей доступной информации. При этом термодинамический подход играет одну из ведущих ролей. Экология изучает организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, сообществ, экосистем. Если учение о биосфере сразу подняло биологию с уровня отдельных видов к целостности высшего порядка, то экология изучает различные уровни целостности, промежуточные между организменным и глобальным.

4. К важным выводам экологии относятся:

— каждый организм может существовать только при условии постоянной тесной связи со средой, т.е. с другими организмами и неживой природой;

— жизнь со всеми ее проявлениями произвела глубокие изменения на нашей планете. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространялись на планете, стимулируя перераспределение энергии и вещества;

— размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается равновесие. Численность их колеблется вблизи равновесного уровня;

— принцип равновесия играет в живой природе огромную роль. Естественное равновесие существует между организмом и окружающей его неживой средой. Великое множество равновесий поддерживают общее равновесие в природе.

5. *Ноосфера* — новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью все, с чем соприкасается в своей жизни. В задачу человека эпохи ноосферы входит правильное, рациональное использование ресурсов Земли без нарушения экологического равновесия во всех направлениях.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Мы хотим, чтобы из глубокого, вдумчивого исследования природы рождалась не только мысль, но и дело.

А. Е. Ферсман

### План семинара

1. Биосфера и ее структура.
2. Концепция В. И. Вернадского о биосфере.
3. Экология и ее основные положения.
4. Переход от биосферы к ноосфере.
5. Демографическая проблема.

### Методические советы и упражнения

#### Основные понятия

**Автотрофный** (*греч.* «*trophe*» — пища) — питающийся неорганическими веществами.

**Автотрофы** — организмы, осуществляющие питание посредством фотосинтеза и хемосинтеза (зеленые растения, некоторые микроорганизмы).

**Ареал** (*лат.* «*area*» — площадь, пространство) — область распространения видов растений и животных на земной поверхности.

**Антропоценозы** (*греч.* «*anthropos*» — человек, «*koinos*» — общий, общность) — сообщества организмов, в которых человек является доминирующим видом, а его деятельность — определяющей состояние всей системы.

**Атмосфера** — газовая оболочка Земли, состоит в основном из азота и кислорода. В небольших количествах в ней содержатся диоксид углерода (0,03%) и озон. Состояние атмосферы оказывает большое влияние на физические, химические и биологические процессы на поверхности Земли и в водной среде. Для биологических процессов наибольшее значение имеют кислород, используемый для дыхания и минерализации мертвого органического вещества; диоксид углерода, участвующий в фотосинтезе, и озон, экранирующий земную поверхность от жесткого ультрафиолетового излучения. Азот, диоксид углерода, пары воды образовались в значительной мере благодаря вулканической деятельности, а кислород — в результате фотосинтеза.



**Биогеоценоз** — составная часть природного ландшафта и элементарная биотерриториальная единица биосферы.

**Биоценотическая среда** — непосредственное живое окружение организма.

**Биотические факторы** объединяют всю сумму воздействий, которую оказывают друг на друга живые существа.

**Биота** (греч. «biote» — жизнь) — исторически сложившаяся совокупность растений и животных на определенной территории.

**Биоценоз** (греч. «био + koinos» — общий) — совокупность растений, животных и микроорганизмов, населяющих участок среды с однородными условиями жизни, например луг, озеро, берег реки и т.д.

**Биомасса** — это суммарная масса организмов данной группы или всего сообщества в целом.

**Гетеротрофные** (греч. «гетеро + trophe» — пища) — организмы, питающиеся органическими веществами. К ним относятся грибы, многие микроорганизмы, все животные и люди.

**Гидросфера** — водная оболочка Земли, совокупность океанов, морей, озер, рек, водохранилищ, болот. Вода — важнейший компонент биосферы и один из необходимых факторов существования живых организмов. Основная ее часть (95%) находится в Мировом океане, который занимает около 70% поверхности земного шара и содержит 1300 млн км<sup>3</sup>. Поверхностные воды (озера, реки) включают всего 0,182 млн км<sup>3</sup>, а количество воды в живых организмах составляет только 0,001 млн км<sup>3</sup>. Значительные запасы воды (24 млн км<sup>3</sup>) содержат ледники.

**Гомеостаз** популяции — поддержание оптимальной в данных условиях численности организмов.

**Живое вещество** — в концепции В. И. Вернадского — совокупность растений и животных, включая человечество. Хотя границы биосферы довольно узки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности Земли, в почве и в приповерхностном слое океана. Общую массу живых организмов оценивают в  $2,43 \cdot 10^{12}$  т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена зелеными растениями и 0,8% — животными и микроорганизмами. Напротив, в океане на долю растений приходится 6,3%, а на долю животных

и микроорганизмов — 93,7% всей биомассы. Суммарная биомасса океана составляет всего  $0,03 \cdot 10^{12}$  т., или 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле. В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов 21% приходится на растения, но их вклад в общую биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов — беспозвоночные и только 4% — позвоночные, из которых десятая часть — млекопитающие. Масса живого вещества составляет всего 0,01–0,02% от косного вещества биосферы, однако она играет ведущую роль в геохимических процессах. Вещества и энергию, необходимую для обмена веществ, организмы черпают из окружающей среды. Ограниченные количества живой материи воссоздаются, преобразуются и разлагаются. Ежегодно благодаря жизнедеятельности растений и животных воспроизводится около 10% биомассы.

**Литосфера** — основная масса организмов, обитающих в пределах литосферы, находится в почвенном слое, глубина которого не превышает нескольких метров. Почва включает минеральные вещества, образующиеся при разрушении горных пород, и органические вещества — продукты жизнедеятельности организмов.

**Ноосфера** (греч. «noos» — разум + сфера) — в учении В. И. Вернадского — сфера разума, ставшая по своему воздействию на планету сравнимой с геологической силой.

**Продукты** автотрофных организмов, главным образом земных растений, которые могут производить пищу из простых неорганических веществ.

**Сапротрофы** (греч. «sapro» — гнилой + «trophe» — питание) — организмы (бактерии, грибы и др.), питающиеся остатками растений и животных и превращающие органические вещества в неорганические и тем самым участвующие в круговороте веществ.

**Трофические связи** — пищевые связи в экосистемах.

**Фаготрофы** (греч. «phagos» — пожирающий + «trophe» — питание) — организмы, питающиеся другими организмами.

**Экология** (греч. «ойкос» — жилище, местообитание) — наука, изучающая взаимосвязи живых организмов в природе; организацию и функционирование популяций, биогеоценозов и биосферы в целом; законы «здорового» состояния как нормы и основы существования жизни.

**Экосистема** — это любое сообщество живых существ вместе с его физической средой обитания, функционирующее как единое целое.

**Тестовые задания**

1. В чем не различаются животные и растения?
  - а) в структуре клеток и их способности к росту;
  - б) по способу питания;
  - в) в вещественном составе;
  - г) по способности к движению;
  - д) ни в чем.
2. Когда произошло расхождение между растительным и животным образом жизни?
  - а) 2 млрд лет назад;
  - б) 1 млн лет назад;
  - в) 100 тыс. лет назад;
  - г) 1 млрд лет назад;
  - д) 5 млн лет назад.
3. Кем впервые предложена концепция о биосфере?
  - а) Ч. Дарвином;
  - б) К. Линнеем;
  - в) Н. Вавиловым;
  - г) Т. Морганом;
  - д) В. Вернадским.
4. В чем состоит основная роль биосферы?
  - а) в распространении живого по земной поверхности;
  - б) организации жизни как единого целого;
  - в) трансформации солнечной энергии в действующую энергию Земли;
  - г) изменении поверхности Земли;
  - д) создании поля устойчивости жизни.
5. Кем был предложен термин «экология» для обозначения науки о взаимоотношениях организмов со средой обитания?
  - а) В. Вернадским;
  - б) А. Чижевским;
  - в) Ч. Дарвином;
  - г) Э. Геккелем;
  - д) А. Опариным.
6. В каком периоде мы живем в экологическом отношении?
  - а) биогенном;
  - б) техногенном;
  - в) ноосферном;

- г) при переходном от техногенного к ноосферному;
  - д) при переходном от биогенного к ноосферному.
7. Наука, занимающаяся изучением поведения животных, это?
- а) психология;
  - б) этология;
  - в) морфология;
  - г) зоология; д) физиология.
8. Кем была предложена концепция ноосферы?
- а) В. Вернадским;
  - б) А. Чижевским;
  - в) Э. Геккелем;
  - г) Тейяр де Шарденом;
  - д) Дж. Хаксли.
9. Как называют в механизме трофических связей организмы, производящие пищу из простых органических веществ?
- а) продуценты;
  - б) фаготрофы;
  - в) сапротрофы;
  - г) гетеротрофы;
  - д) консументы.
10. Что является основным сдерживающим фактором демографического взрыва на современном этапе?
- а) смертность от рака;
  - б) смертность от сердечно-сосудистых заболеваний;
  - в) детская смертность;
  - г) потери в войнах;
  - д) потери в автокатастрофах.
11. Как называют организмы, преобразующие, минерализующие органическое вещество?
- а) продуценты;
  - б) консументы;
  - в) редуценты;
  - г) автотрофы;
  - д) никак.
12. Как называют в трофической цепи организмы, питающиеся другими живыми организмами?
- а) продуценты;
  - б) редуценты;
  - в) сапротрофы;

- г) автотрофы;
- д) консументы.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Что включает В. И. Вернадский в понятие биосферы?
2. На каких принципах основывается учение о биосфере Вернадского?
3. Как осуществляется переход от биосферы к ноосфере?
4. Что изучает экология?
5. Какими являются основные выводы экологии?
6. Расскажите об основных трофических (пищевых) связях в экосистемах.
7. Почему солнечная энергия служит источником функционирования и развития экосистем? Обоснуйте свой ответ.
8. В чем состоят основные положения принципа равновесия?
9. Охарактеризуйте гипотезу Гея — Земли.
10. Как связана деятельность общества с функционированием экосистем?
11. Почему В. И. Вернадский сравнивает деятельность разума человека с геологической силой? Что служит наименьшей единицей в экологии?
12. Находилась ли биосфера в стадии деградации?
13. Каковы основные этапы в развитии биосферы?
14. Что является вершиной развития биосферы?
15. Какова специфика человека как феномена природы?
16. Что означает научная мысль в понимании В. И. Вернадского?
17. Ограничен ли генетический потенциал возрастными рамками?
18. Дайте краткую характеристику трансформации биосферы в ноосферу.
19. В чем заключается гипотеза о космическом воздействии на биосферу, приводившем к нарушению эволюционного процесса?
20. Дайте краткую характеристику экологического состояния водных ресурсов.
21. Объясните важность и практическую значимость утверждения: сберегая энергию, мы сохраним природную среду нашего обитания.
22. Назовите некоторые перспективные способы решения проблемы производства энергии и сохранения окружающей среды.

23. В чем заключается радиоактивное воздействие на биосферу?

24. Приведите данные, характеризующие последствия атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки.

25. Каковы проявления последствий аварии на Чернобыльской АЭС?

26. Какие процессы происходят при взаимодействии излучения с веществом?

27. В чем проявляется действие излучения на живые организмы?

28. Как осуществляется защита от облучения?

29. Как влияют различные дозы облучения на здоровье человека?

30. Назовите наиболее перспективные способы захоронения ядерных отходов.

31. В чем заключаются экологические проблемы современных мегаполисов?

32. Каково влияние автотранспортных средств на окружающую среду?

33. Охарактеризуйте основные способы утилизации экологически опасных газов, промышленных и бытовых отходов.

34. Какие перемены в базисных отраслях промышленности способствуют оздоровлению окружающей среды?

35. Приведите примеры разработок генной инженерии, направленных на решение экологических проблем.

36. Назовите новые направления в развитии современной технологической сферы при сохранении экологической безопасности.

### **Тематика рефератов**

1. Биосфера, ее эволюция, пределы устойчивости.
2. Учение о ноосфере В. И. Вернадского: основные положения, элементы научной утопии.
3. Ресурсы биосферы и демографические проблемы.
4. Основные проблемы экологии и роль среды для жизни. Иерархическое строение биосферы и трофические уровни.
5. Гипотеза Гей — Земли как единого организма и ее естественно-научное обоснование.
6. Представление о коэволюции.
7. Концепция ноосферы и ее научный статус.
8. Уникальность биосферы Земли.

9. Существовала ли биосфера на других планетах Солнечной системы?
10. Основополагающие жизненные системы.
11. Носители наследственности.
12. Достижения генной инженерии.
13. Практические приложения генной инженерии.
14. Эволюционный характер развития биосферы.
15. Трансформация биосферы в ноосферу.
16. Механизмы космического воздействия на биосферу.
17. Глобальное внутрипланетарное воздействие на биосферу.
18. Деятельность людей и экологическая катастрофа.
19. Этические нормы поведения человека и биосфера.
20. Экологическое состояние окружающей среды сегодня.
21. Мои действия по сохранению окружающей среды.

### Литература

1. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Вернадский, В. И.* Начало и вечность жизни. — М., 1989.
3. *Одум, Ю.* Экология. — М. : Мир, 1986. — Т. 1. — Гл. 1–2.
4. *Вернадский, В. И.* Биосфера и ноосфера. — М., 1989.
5. *Казначеев, В. П.* Очерки теории и практики экологии человека. — М., 1983.
6. *Чижевский, А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. — М. : Наука, 1976.

## Глава 18

# МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

### 18.1. Системный метод исследования

Невозмутимый строй во всем,  
Созвучье полное в природе...

*Ф.И. Тютчев*

В самом общем и широком смысле слова под *системным исследованием* предметов и явлений окружающего нас мира понимают такой метод, при котором они рассматриваются как части и элементы определенного целостного образования. Эти части или элементы, взаимодействуя друг с другом, определяют новые, целостные свойства системы, которые отсутствуют у отдельных ее элементов. Главное, что определяет систему, — это взаимосвязь и взаимодействие частей в рамках целого. Для системного исследования характерно именно целостное рассмотрение, установление взаимодействия составных частей или элементов совокупности, несводимость свойств целого к свойствам частей.

Учение о системах возникло в середине XIX в., но приобрело особенно важное значение в XX в. Его иначе называют еще «системным подходом» к изучаемым объектам, или «системным анализом».

**Система** — это такая совокупность элементов или частей, в которой существует их взаимное влияние и взаимное качественное преобразование. С этой точки зрения современное естествознание приблизилось к тому, чтобы стать настоящей системой, потому что все его части ныне находятся во взаимодействии. В нем все пропитано физикой и химией и в то же время нет уже ни одной естественной науки в рафинированном, чистом виде.

Под системой понимают совокупность компонентов и устойчивых, повторяющихся связей между ними. Процесс



системного рассмотрения объектов широко применяется в самых различных областях общественных, естественных и технических наук, в практике социального планирования и управления в обществе, при решении комплексных социальных проблем, при подготовке и реализации разнообразных целевых программ.

Основными свойствами систем являются следующие:

- всеобщий характер, поскольку в качестве системы могут рассматриваться все без исключения предметы и явления окружающего мира;
- не вещественность;
- внутренняя противоречивость (конкретность и абстрактность, целостность и дискретность, непрерывность и прерывность);
- способность к взаимодействию;
- упорядоченность и целостность;
- устойчивость и взаимообусловленность.

Способность процессов и явлений мира образовывать системы, наличие систем, системного строения материальной действительности и форм ее познания получила название системности. Понятие системности отражает одну из характерных признаков действительности — способность вступать в такого рода взаимодействия, в результате которых образуются новые качества, не присущие исходным объектам взаимодействия.

Целостность, завершенность, тотальность, цельность и собственная закономерность вещи — на рубеже XIX и XX вв. стали употреблять эти понятия для того, чтобы рассматривать все вещи прежде всего в их первоначально цельной взаимосвязи, в их структуре и, таким образом, отдать справедливость тому факту, что указание свойств составных частей никогда не сможет объяснить общего состояния или общего действия вещи; ибо отдельное, «часть» может быть понята только вне целого, а целое, как учил Аристотель, больше суммы своих частей. Целое не «составлено» из частей — в нем только различаются части, в каждой из которых действует целое, например организм — динамическая целостность.

Аддитивный (*лат.* — придаточный; *букв.* — получаемый путем сложения) и неаддитивный — понятия, отражающие типы соотношений между целым и составляющими его частями (часть и целое). Отношение аддитивности часто выражают в виде: «целое равно сум-

ме частей»; отношение неаддитивности: «целое больше суммы частей» (супераддитивность), «целое меньше суммы частей» (субаддитивность). У всякого материального объекта имеются аддитивные свойства, в частности масса физической системы равна сумме масс частей системы. Однако многие свойства сложных объектов являются неаддитивными, т.е. не сводимыми к свойствам частей. В методологическом плане принцип аддитивности предполагает возможность исчерпывающего объяснения свойств целого из свойств частей (или, наоборот, свойств частей из свойств целого), тогда как принципы неаддитивности, исключая такую возможность, требуют применения иных оснований для объяснения свойств целого (соответственно — свойств частей).

Термин «интегративность» часто используется как синоним целостности. Тем не менее при его употреблении обычно подчеркивают интерес не к внешним факторам проявления целостности, а к более глубоким причинам формирования этого свойства и, самое главное, к его сохранению. Поэтому интегративными называют системообразующие, системосохраняющие факторы, наиболее важными среди которых являются неоднородность и противоречивость их элементов.

Закономерность, именуемая как коммуникативность, проявляется том, что любая система не изолирована и связана множеством коммуникаций со средой, которая не однородна, а представляет собой сложное образование, содержит надсистему или даже надсистемы, задающие требования и ограничения исследуемой системы, подсистемы и системы одного уровня с рассматриваемой.

Система — это множество объектов вместе с отношениями между объектами, между их свойствами, которые взаимодействуют между собой таким образом, что обуславливают возникновение новых, целостных, системных свойств. Для лучшего понимания природы систем рассмотрим их строение, структуру и классификацию.

Строение системы характеризуется теми компонентами, из которых она образована. Такими *компонентами* являются: подсистемы, части или элементы системы. Подсистемы составляют наибольшие части системы, которые обладают определенной автономностью, но в то же время они подчинены и управляются системой. *Элементами* называют наименьшие единицы системы.

*Структурой системы* называют совокупность тех специфических взаимосвязей и взаимодействий, благодаря которым возникают новые целостные свойства, присущие только системе и отсутствующие у отдельных ее компонентов.

Классификация систем может производиться по самым разным основаниям деления. Прежде всего все системы можно разделить на *материальные* и *идеальные*. К материальным системам относится подавляющее большинство систем неорганического, органического и социального характера. Материальными системами называют их потому, что их содержание и свойства не зависят от познающего субъекта. Содержание и свойства идеальных систем зависят от субъекта. Наиболее простой классификацией систем является их деление на *статические* и *динамические*. Среди динамических систем обычно выделяют *детерминистские* и *вероятностные* системы. Такая классификация основывается на характере предсказания динамики поведения систем. По характеру взаимодействия с окружающей средой различают системы *открытые* и *закрытые*. Обычно выделяют те системы, с которыми данная система взаимодействует непосредственно и которые называют окружением или внешней средой системы. Все реальные системы в природе и обществе являются, как мы уже знаем, открытыми и, следовательно, взаимодействующими с окружением путем обмена веществом, энергией и информацией. Системы классифицируют также на *простые* и *сложные*. Простыми системами называют системы с небольшим числом переменных, и взаимоотношения между которыми поддаются математической обработке и выведению универсальных законов. Сложная система состоит из большого числа переменных и большого количества связей между ними. Сложная система имеет свойства, которых нет у ее частей и которые являются следствием эффекта целостности системы.

Среди всех сложных систем наибольший интерес представляют системы с так называемой обратной связью. Пример — падение камня и кошки. Камень индифферентен по отношению к нам, а кошка нет. В системе «кошка — человек» имеется обратная связь — между воздействием и ее реакцией, которой нет в системе камень — человек.

Если поведение системы усиливает внешнее воздействие — это называется *положительной обратной связью*,

если же уменьшает — то *отрицательной обратной связью*. Особый случай представляют *гомеостатические обратные связи*, которые действуют, чтобы свести внешнее воздействие к нулю. Пример: температура тела человека, которая остается постоянной благодаря гомеостатическим обратным связям.

Механизм обратной связи призван сделать систему более устойчивой, надежной и эффективной. В техническом, функциональном смысле понятие обратной связи означает, что часть выходной энергии аппарата или машины возвращается на вход. Механизм обратной связи делает систему принципиально иной, повышая степень ее внутренней организованности и давая возможность ее самоорганизации в данной системе.

Наличие механизма обратной связи позволяет сделать заключение о том, что система преследует какие-то цели, т.е. что ее поведение целесообразно. Всякое целенаправленное поведение требует отрицательной обратной связи. Научное понимание целесообразности строилось на обнаружении в изучаемых предметах объективных механизмов целеполагания.

Возникновение и применение системного метода в науке знаменует значительно возросшую зрелость современного этапа его развития.

Преимуществами и перспективами системного метода исследования являются следующие:

1. Системный метод дает возможность раскрыть более глубокие закономерности, присущие широкому классу взаимосвязанных явлений. Предмет этой теории составляет установление и вывод тех принципов, которые справедливы для систем в целом.

2. Фундаментальная роль системного метода заключается в том, что с его помощью достигается наиболее полное выражение единства научного знания. Это единство проявляется, с одной стороны, во взаимосвязи различных научных дисциплин, которая выражается в возникновении новых дисциплин на «стыке» старых (физическая химия, химическая физика, биофизика, биохимия, биогеохимия и др.), а с другой стороны — в появлении междисциплинарных направлений исследования (кибернетика, синергетика, экология и т.п.).

3. Единство, которое выявляется при системном подходе к науке, заключается прежде всего в установлении связей

и отношений между самыми различными по сложности организации, уровню познания и целостности охвата системами, с помощью которых отображаются рост и развитие нашего знания о природе. Чем обширнее система, чем сложнее она по уровню познания и структурной организации, тем больший круг явлений она в состоянии объяснить. Таким образом, единство знания находится в прямой зависимости от его системности.

4. С позиций системности, единства и целостности научного знания становится возможным правильно подойти к решению таких проблем, как редукция, или сведение одних теорий естествознания к другим, синтез, или объединение кажущихся далекими друг от друга теорий, их подтверждение и опровержение данными наблюдений и экспериментов.

5. Системный подход в корне подрывает прежние представления о естественно-научной картине мира, когда природа рассматривалась как простая совокупность различных процессов и явлений, а не тесно взаимосвязанных и взаимодействующих систем, различных как по уровню своей организации, так и по сложности.

Системный подход исходит из того, что система как целое возникает не каким-то мистическим и иррациональным путем, а в результате конкретного, специфического взаимодействия вполне определенных реальных частей. Вследствие такого взаимодействия частей и образуются новые интегральные свойства системы.

Итак, процесс познания природных и социальных систем может быть успешным только тогда, когда в них части и целое будут изучаться не в противопоставлении, а во взаимодействии друг с другом, анализ сопровождаться синтезом.

Вместе с тем представляются ошибочными взгляды сторонников философского учения холизма (*греч.* «holos» — целое), которые считают, что целое всегда предшествует частям и всегда важнее частей. В применении к социальным системам такие принципы обосновывают подавление личности обществом, игнорирование его стремления к свободе и самостоятельности. На первый взгляд может показаться, что концепция холизма о приоритете целого над частью согласуется с принципами системного метода, который также подчеркивает большое значение идей целостности, интеграции и единства в познании явлений и процессов природы и общества. Но при более внимательном знакомстве

оказывается, что холизм чрезмерно преувеличивает роль целого в сравнении с частью, значение синтеза по отношению к анализу. Поэтому он является такой же односторонней концепцией, как атомизм и редукционизм. Системный метод избегает этих крайностей в познании мира. Именно вследствие взаимодействия частей образуются новые интегральные свойства системы. Но вновь возникшая целостность, в свою очередь, начинает оказывать воздействие на части, подчиняя их функционирование задачам и целям единой целостной системы.

## 18.2. Кибернетика — наука о сложных системах

Наука — это неустанная многовековая работа мысли свести посредством системы все познаваемые явления нашего мира.

*А. Эйнштейн*

Самым значительным шагом в формировании идеи системного метода было появление кибернетики как общей теории управления в технических системах, живых организмах и обществе. В рамках кибернетики впервые было ясно показано, что процесс управления с самой общей точки зрения можно рассматривать как процесс накопления, передачи и преобразования информации. Само же управление можно отобразить с помощью определенной последовательности точных предписаний — алгоритмов, посредством которых осуществляется достижение поставленной цели.

Наука, которая занимается исследованиями процессов управления сложными системами с обратной связью, получила название кибернетики (*греч.* — искусство управления). Она возникла на стыке математики, техники и нейрофизиологии, и ее интересует целый класс как живых, так и неживых систем, в которых существуют механизмы обратной связи. Основателем кибернетики считается американский математик Н. Винер, выпустивший в 1948 г. книгу «Кибернетика».

Кибернетика изучает способы связи и модели управления, для этого ей понадобилось ввести понятие информации (*лат.* — ознакомление, разъяснение) как меры организованности системы в противоположность понятию

энтропии как меры неорганизованности. Понятие информации имеет такое большое значение, что оно вошло в заглавие нового научного направления, возникшего на базе кибернетики, — информатики (соединение слов информация и математика).

С повышением энтропии уменьшается информация (поскольку все усредняется), и наоборот, понижение энтропии увеличивает информацию. Связь информации с энтропией свидетельствует и о связи информации с энергией. Энергия (*греч.* — деятельность) характеризует общую меру различных видов движения и взаимодействия.

Информация характеризует меру разнообразия систем. Хотя информация и энергия относительно обособлены друг от друга, тем не менее они связаны между собой. Информация растет с повышением разнообразия системы. Одним из основных законов кибернетики является закон необходимого разнообразия: эффективное управление какой-либо системой возможно только в том случае, когда разнообразие управляющей системы больше разнообразия управляемой системы. Следовательно, чем больше информации о системе, которой собираются управлять, тем эффективнее будет проходить этот процесс.

Общая значимость кибернетики проявляется, в частности, в следующих направлениях:

1. В *науке* — дает новое представление о мире, основанное на роли связи, управления, информации, организованности, обратной связи, целесообразности, вероятности.

2. В *социологии* — вносит новое представление об обществе как организованной целой системе.

3. В *научном познании* — выявляет новые понятия управления, методы исследования, формирует гипотезы о внутреннем составе и строении систем.

4. В *методологии научного поиска* — изучение простых технических систем способствует выдвижению гипотез о работе сложных систем (живых организмов, мышления людей).

5. В *технике* — создание ЭВМ, роботов, персональных компьютеров. ЭВМ и персональные компьютеры облегчают умственный труд, заменяя человеческий мозг в его наиболее простых и рутинных функциях. ЭВМ работают по принципу «да-нет», и этого оказалось достаточно, для того чтобы создать вычислительные машины, хотя и уступающие мозгу в гибкости, но превосходящие его по скорости выполне-

ния вычислительных операций. Если же будут построены не просто человекоподобные роботы, но и превосходящие его по уму, то это повод не только для радости, но и для беспокойства, связанного как с роботизацией самого человека, так и с проблемой возможного выхода машин из-под контроля людей и даже возможного порабощения ими человека.

### 18.3. Методы математического моделирования

Тот, кто хочет решать вопросы естественных наук без помощи математики, ставит неразрешимую задачу.

Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является.

*Г. Галилей*

Выявление общего, существенного, присущего всем системам определенного рода производится наиболее общим приемом — математическим моделированием. При математическом моделировании систем наиболее четко проявляется эффективность единства качественных и количественных методов исследования, характеризующая магистральный путь развития современного научного познания.

Всякая сложная система, модель которой мы создаем, при своем функционировании подчиняется определенным законам — физическим, химическим, биологическим и др. Рассматриваются такие системы, для которых знание законов предполагает известными количественные соотношения, связывающие те или иные характеристики моделируемой системы. Модель создается для ответа на некоторое множество вопросов о моделируемом объекте. Интересуясь некоторыми аспектами функционирующей системы, ее изучают с определенных точек зрения. Направления изучения системы в значительной степени и определяют выбор модели. Опишем процесс построения математической модели сложной системы. Его можно представить состоящим из следующих этапов:

1. Формулируются основные вопросы о поведении системы, ответы на которые мы хотим получить с помощью модели.



2. Из множества законов, управляющих поведением системы, учитываются те, влияние которых существенно при поиске ответов на поставленные вопросы.

3. В дополнение к этим законам, если необходимо, для системы в целом или отдельных ее частей формулируются определенные гипотезы о функционировании. Как правило, эти гипотезы правдоподобны в том смысле, что могут быть приведены некоторые теоретические доводы в пользу их принятия.

4. Гипотезы так же, как и законы, выражаются в форме определенных математических соотношений, которые объединяются в некоторое формальное описание модели.

На этом оканчивается процесс построения математической модели. Далее следует процесс исследования этих соотношений с помощью аналитических и вычислительных методов, приводящий в конечном итоге к отысканию ответов на предъявляемые модели вопросы. Разрабатывается или используется созданный ранее алгоритм для анализа этой модели. Если модель и алгоритм не слишком сложны, то может оказаться возможным аналитическое исследование модели. В противном случае составляется программа, реализующая этот алгоритм на ЭВМ. После выполнения расчетов по модели на ЭВМ их результаты обязательно сравниваются с фактической информацией из соответствующей предметной области. Это сравнение необходимо для того, чтобы убедиться в адекватности модели, в том, что модельным расчетам можно верить, их можно использовать.

Если модель хороша, то ответы, найденные с ее помощью, как правило, бывают весьма близки к ответам на те же вопросы о моделируемой системе. Более того, в этом случае зачастую с помощью модели удастся ответить и на некоторые ранее не ставившиеся вопросы, расширить круг представлений о реальной системе. Если же модель плоха, т.е. недостаточно адекватно описывает систему с точки зрения задаваемых ей вопросов, то она подлежит дальнейшему улучшению или замене. Возможны также ошибки в алгоритме, в программе для ЭВМ. Такие повторные просмотры продолжаются до тех пор, пока результаты расчетов не удовлетворят исследователя. Теперь модель готова к использованию. Критерием адекватности модели служит практика, которая и определяет, когда может закончиться процесс улучшения модели. Итак, ни ЭВМ, ни математи-

ческая модель, ни алгоритм для ее исследования порознь не могут решить достаточно сложную исходную задачу. Но вместе они представляют ту силу, которая позволяет познавать окружающий мир, управлять им в интересах человечества.

Достоинствами метода математического моделирования является то, что модель представляет собой формализованную запись тех или иных законов природы, управляющих функционированием системы. Однако определенные трудности возникают при попытке построения математической модели очень сложной системы.

Существуют различные модели, используемые для описания сложных систем, например такие:

- *дескриптивные* (описательные), описывающие происходящие в системе процессы;
- *оптимизационные*, управляющие процессом, т.е. принимающие те или иные решения;
- *многокритериальные*, рассматривающие систему по многим критериям;
- *игровые*, пригодные для исследования и рассматривающие конфликтные ситуации;
- *имитационные*, максимально использующие имеющуюся информацию о поведении системы.

## Выводы

1. Под *системой* понимают совокупность компонентов и устойчивых, повторяющихся связей между ними. Разделение систем на простые и сложные является фундаментальным в естествознании. Среди всех сложных систем наибольший интерес представляют системы с так называемой обратной связью.

2. Наличие *механизма обратной связи* позволяет сделать заключение о том, что система преследует какие-то цели, т.е. что ее поведение целесообразно. Наука, которая первой начала исследование подобных систем, получила название кибернетики. Кибернетика — это наука об управлении сложными системами с отрицательной обратной связью.

3. *Системный подход* в науке XX в. — междисциплинарное направление исследований, заключающееся в рассмотрении объекта с точки зрения взаимодействия части и целого. Для системного подхода характерно именно целостное рассмотрение, установление взаимодействия составных

частей или элементов совокупности, несводимость свойств целого к свойствам частей.

4. Системный подход в корне подрывает прежнее представление о естественно-научной картине мира, когда природа рассматривалась как простая совокупность различных процессов и явлений, а не тесно взаимосвязанных и взаимодействующих систем, различных как по уровню своей организации, так и по сложности. Процесс познания природных и социальных систем может быть успешным только тогда, когда в них части и целое будут изучаться не в противопоставлении, а во взаимодействии друг с другом, анализ сопровождается синтезом.

5. Выделение *биоценозов* позволяет использовать методы математического моделирования в экологии. При таком моделировании чаще всего встречаются ситуации: конкуренции и сосуществования; симбиоза; хищника — жертвы.

6. Математическое моделирование различных систем используется в современном естествознании как междисциплинарная методика исследования.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Я бы предпочел найти хотя бы одну истину,  
чем стать царем Персии.

*Демокрит*

### План семинара

1. Система, ее строение, структура и классификация.
2. Понятие сложной системы, обратные связи в ней и целесообразность.
3. Кибернетика.
4. Специфика системного метода исследования в науке.
5. Место системного метода в современном научном мировоззрении.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Агрегат** (лат. «aggrego» — присоединяю) — механическое соединение в целое разнородных частей и объектов.

**Алгоритм** (лат. «*algoritmi*» — транслитерация имени математика аль-Хорезми) — система операций, последовательно применяемых по определенным правилам для решения определенной задачи или проблемы массового характера.

**Гомеостазис** (греч. «*homoios*» — подобный + «*stasis*» — состояние) — совокупность приспособительных реакций организма, направленных на сохранение динамического состояния его внутренней среды (температуры тела, кровяного давления и др.). В его основе лежит принцип отрицательной обратной связи.

**Дискретный** (лат. «*discretus*» — отдельный, прерывистый) — прерывный, состоящий из отдельных частей.

**Диссимиляция** (лат. «*dissimilatio*» — расподобление) — распад в организме сложных веществ на простые, сопровождающийся освобождением энергии.

**Интеграция** (лат. «*integratio*» — восстановление) — объединение в целое каких-либо частей. В научном познании такое объединение осуществляется в различных формах, начиная от применения понятий и методов одной науки в другой и кончая современным системным методом.

**Интерпретация** (лат. «*interpretatio*» — посредничество) — истолкование, разъяснение смысла какой-либо знаковой системы (символа, выражения, текста).

**Калибровочные преобразования** — заключаются в том, что волновые функции всех частиц могут быть одновременно умножены на произвольный фазовый множитель.

**Кибернетика** (греч. «*kybernetike*» — искусство управления) — наука об общих принципах управления в машинах, живых организмах и обществе.

**Комплексность** — специфическая форма конкретизации системности (комплекс означает в переводе с латинского «связь», «сочетание»).

**Организация** — упорядоченность, достигаемая внешними по отношению к системе факторами.

**Порядок** (упорядоченность) — исходное понятие теории систем, означающее определенное расположение элементов или их последовательность во времени.

**Редукционизм** — сведение сложного к простому, составного — к элементарному.

**Система** — совокупность взаимодействующих объектов, образующих определенную ценность, в которой в результате взаимодействия возникают новые интегративные свойства целого, отсутствующие у ее объектов или частей.

**Системность** (целостность) — внутренняя организация Вселенной, обладающая саморазвитием и эмерджентными свойствами и функционирующая по принципу обратных связей.

**Системотехника** — научно-техническая дисциплина, изучающая проблемы анализа и синтеза систем.

### Тестовые задания

1. Как называют системы, взаимодействующие с окружением путем обмена веществом, энергией и информацией?
  - а) сложные;
  - б) материальные;
  - в) динамические;
  - г) открытые;
  - д) статистические.
2. Для какой обратной связи характерно усиление внешнего воздействия?
  - а) положительной;
  - б) отрицательной;
  - в) гомеостатической;
  - г) ни одной из них;
  - д) для всех.
3. Для какой обратной связи характерно уменьшение внешнего воздействия?
  - а) положительной;
  - б) отрицательной;
  - в) гомеостатической;
  - г) ни одной из них;
  - д) для всех.
4. Кто считается основателем кибернетики?
  - а) Н. Винер;
  - б) А. Эйнштейн;
  - в) Л. Канторович;
  - г) В. Вернадский;
  - д) Н. Лобачевский.
5. Что характеризует меру организованности системы?
  - а) энтропия;
  - б) информация;
  - в) энергия;
  - г) кибернетика;
  - д) холизм.

6. Какое учение дает одностороннее преимущество целому над частью?
- а) энтропия;
  - б) информатика;
  - в) энергия;
  - г) кибернетика;
  - д) холизм.
7. Что характеризует меру неорганизованности системы?
- а) энтропия;
  - б) информация;
  - в) энергия;
  - г) кибернетика;
  - д) холизм.
8. Для какой обратной связи характерно сведение внешнего воздействия к нулю?
- а) положительной;
  - б) отрицательной;
  - в) гомеостатической;
  - г) ни одной из них;
  - д) для всех.
9. Какое из определений наиболее подходит для характеристики кибернетики?
- а) управление сложными системами;
  - б) разработка роботов;
  - в) изучение ЭВМ и персональных компьютеров;
  - г) математическое моделирование;
  - д) создание промышленных роботов.
10. Какое из следующих условий характеризует равновесную систему?
- а) система реагирует на внешние условия;
  - б) поведение системы случайно и не зависит от начальных условий;
  - в) энтропия системы увеличивается и стремится к максимуму;
  - г) приток энергии создает в системе порядок, т.е. энтропия уменьшается;
  - д) в развитии системы имеется переломная точка, т.е. точка бифуркации.
11. Системы, не обменивающиеся с окружением веществом, энергией и информацией, называют:

- а) сложными;
- б) закрытыми;
- в) материальными;
- г) динамическими;
- д) открытыми;
- е) статическими.

### Вопросы и задания для обсуждения

1. Какие системы называются сложными?
2. Как понимать обратные связи в системах?
3. В чем состоит целесообразность системы?
4. Какое значение имеет кибернетика?
5. В чем состоит специфика системного исследования?
6. Чем отличается система от агрегата?
7. Какое различие существует между строением и структурой системы?
8. На чем основано применение математики в системных исследованиях?
9. В чем состоят преимущества системного метода исследования?
10. Можно ли применить системный метод к отдельному предмету?
11. Можно ли построить универсальную теорию систем? Обоснуйте ответ.
12. Чем отличается системный подход от редукционизма и холизма?
13. Какое мировоззренческое значение имеет системный метод?

### Тематика рефератов

1. Основные проблемы кибернетики.
2. Значение системного, структурного и функционального подходов в современном естествознании.
3. Понятие закона и целесообразности.

### Литература

1. *Рузавин, Г.И.* Системный подход и единство научного знания. Единство научного знания. — М., 1988. — С. 237—252.
2. *Блауберг, И.В.* Становление и сущность системного подхода / И.В. Блауберг, Э.Г. Юдин. — М., 1973.
3. *Поппер, К.* Логика и рост научного знания. — М., 1983.

4. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. — М., 1982.

5. Философский энциклопедический словарь. — М., 1989. — С. 584—588.



## Глава 19

# САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПРИРОДЕ

### 19.1. Парадигма самоорганизации

Человек, ставший сторонником новой парадигмы на раннем этапе развития, должен... верить в успех этой парадигмы.

*Томас Кун*

В настоящее время концепция самоорганизации получает все большее распространение не только в естествознании, но и в социально-гуманитарном познании. Так как большинство наук изучают процессы эволюции систем, то они вынуждены анализировать и механизмы их самоорганизации. Вот почему концепция самоорганизации становится парадигмой исследования обширного класса систем и совершающихся в них процессов и явлений. Обычно под парадигмой в науке подразумевают фундаментальную теорию, которая применяется для объяснения широкого круга явлений, относящихся к соответствующей области исследования. Примерами таких теорий могут служить классическая механика Ньютона или эволюционное учение Дарвина. Сейчас значение понятия парадигмы еще более расширилось, поскольку оно применяется не только к отдельным наукам, но и к междисциплинарным направлениям исследований. Типичными примерами таких междисциплинарных парадигм являются возникшая полвека назад кибернетика и появившаяся четверть века спустя синергетика.

Под самоорганизацией мы понимаем необратимый процесс, приводящий в результате кооперативного действия подсистем к образованию более сложных структур всей системы. **Самоорганизация** — элементарный процесс эволюции, состоящий из неограниченной последовательности процессов самоорганизации. Термин «самоорганизация» используется для обозначения диссипативной самоорганизации, т.е. образования диссипативных структур. Наряду с диссипативной

самоорганизацией существуют и другие формы самоорганизации, такие как *консервативная* самоорганизация (образование структур кристаллов, биополимеров и т.д.) и *дисперсионная* (образование солитонных структур).

Решающее значение для создания теории самоорганизации имели развитие и разработка методологии следующих дисциплин:

- 1) термодинамики необратимых процессов в открытых системах;
- 2) нелинейной механики, электрофизики и физики лазеров;
- 3) химической кинетики сильно неравновесных процессов;
- 4) нелинейной динамики популяций и экологии;
- 5) нелинейной теории регулирования, кибернетики и системного анализа.

Из приведенного выше перечня отчетливо виден междисциплинарный характер физики самоорганизации.

Для объяснения процессов самоорганизации рассматриваются открытые системы, которые способны обмениваться с окружающей средой веществом, энергией или информацией. Открытая система не может быть равновесной, потому что ее функционирование требует непрерывного поступления энергии и вещества из внешней среды, вследствие чего неравновесие в системе усиливается. В конечном итоге прежняя взаимосвязь между элементами системы, т.е. ее прежняя структура, разрушается. Между элементами системы возникают новые согласованные связи. Благодаря этому оказалось возможным развить новую нелинейную и неравновесную термодинамику необратимых процессов, которая стала основой современной концепции самоорганизации. Для более общего и глубокого представления о конкретных механизмах самоорганизации рассмотрим основные понятия и принципы синергетики.

## 19.2. Синергетика

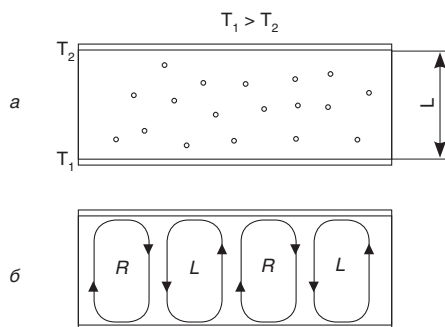
Все исследуй, давай разуму первое место.

*Пифагор*

К установлению общего взгляда на процессы самоорганизации разные ученые шли различными путями.

В 1901 г. французский физик Бенар при анализе переноса теплоты через слой жидкости или газа, подогреваемых сни-

зу (рис. 19.1, *a*), обнаружил странный эффект. При определенной разности температур  $\Delta T = T_1 - T_2$  между пластинами и расстоянии  $L$  между ними происходит смена механизма переноса энергии и характера движения газа или жидкости: от хаотического, так называемого броуновского, движения среда переходит к четко организованному конвективному процессу (рис. 19.1, *б*). При этом движущаяся между пластинами среда приобретает вид вращающихся валиков.



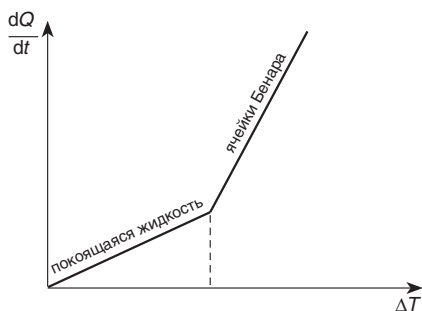
**Рис. 19.1. Перенос теплового потока в газе между пластинами:**

*a* — молекулярный перенос; *б* — конвективные токи, вращающиеся по часовой стрелке *R* и против стрелки *L*

Конвективное движение возникает благодаря действию на каждый элементарный объем жидкости различных сил. Из-за разной плотности нагретых и холодных слоев возникает подъемная сила, уравновешенная силой тяжести и силой вязкости. В результате игры этих сил и возникает конвективное движение объемов жидкости. В этом «танце» объемов жидкости, содержащем большое количество молекул, не принимают участия известные в физике силы межмолекулярного взаимодействия, так как они действуют на очень малых расстояниях (порядка  $10^{-9}$  м). Конвекция же в этом опыте возникает в пространстве, размеры которого в десятки миллионов раз больше.

Можно было бы привести и другие примеры, когда совокупность частиц превращается в систему, имеющую свойства, связанные с конвективным взаимодействием. Этот эффект можно представить количественно в виде зависимости потока теплоты  $q$  Вт/м от разности температур  $\Delta T$  на пластинах. При  $\Delta T > \Delta T_{кр}$  происходит резкий излом этой зависимости,

в системе начинается структурообразование, появляются конвективные ячейки и тепло нижней поверхности начинает интенсивно переходить к верхней (рис. 19.2).



**Рис. 19.2. Зависимость теплового потока  $q$  Дж/м<sup>2</sup>с от разности температур  $\Delta T$  между пластинами**

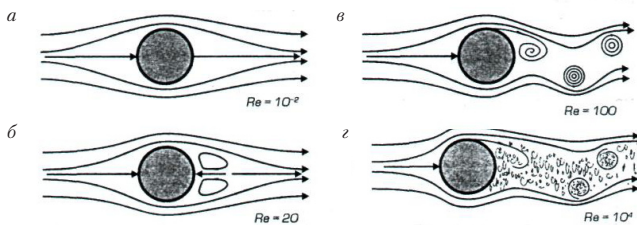
В этих условиях жидкость начинает более интенсивно экспортировать энтропию. До этого отток энтропии ( $\Delta_e S$ ) компенсировался ее производством ( $\Delta S$ ) за счет внутреннего трения и теплопроводности. После перехода точки  $\Delta T_{кр}$  отток энтропии начинает существенно превосходить ее производство и в системе возникают новые структуры: у совокупности частиц возникают новые свойства, отсутствующие у ее элементов. Эти свойства называют свойствами кооперативности, или когерентности.

Проанализируем процесс переноса теплоты между нагретыми пластинами и зададимся вопросом, что произойдет в случае, когда порог структурирования  $\Delta T = \Delta T_{кр1}$  превышен, а разность температур продолжает возрастать. Опыт показывает, что при некотором значении  $\Delta T > \Delta T_{кр1}$  ячейки Бенара продолжают существовать, однако некоторые их характеристики начинают меняться. Оказывается, что после перехода через второе критическое значение  $\Delta T_{кр2}$  возникает новый так называемый турбулентный режим. Он характеризуется тем, что параллельное течение жидкости в валах (ламинарный режим) начинает размываться и переходит в неупорядоченное вихреобразное перемешивание (турбулентный режим). Особенности турбулентного режима можно наглядно продемонстрировать на примере обтекания шара или цилиндра.

Рассмотрим цилиндр, ось которого перпендикулярна скорости  $v$  движущейся жидкости. На рис. 19.3, *а* схематически показаны линии тока жидкости при малой скорости ее движения. Характер этих линий зависит не только от скорости, но и от кинематической вязкости  $\nu = \mu/\rho$  ( $\mu$  — вязкость жидкости,  $\rho$  — ее плотность) и от диаметра  $d$  цилиндра. Эти числа объединяют в безразмерный комплекс Рейнольдса

$Re = \frac{vd}{\nu}$ , который более полно, чем одна скорость, описывает

картину обтекания цилиндра жидкостью. Итак, при малых числах  $Re \leq 20$  линии тока стационарны, т.е. не меняются со временем. Но после того как скорость превысит некий порог, в следе за цилиндром появляются рециркуляционные вихри (рис. 19.3, *б*). Стационарный режим исчезает, уступая место цепочке вихрей, вращающихся попеременно то в одну, то в другую сторону. Это явление носит название вихревой дорожки Бенара — Кармана. На рис. 19.3 изображена эволюция вихрей для различных значений  $20 \leq Re \leq 10^6$ . При  $Re > 20$  появляется пара вихрей, при  $Re > 10^2$  вихри осциллируют (рис. 19, *в*). При еще более высокой скорости ( $Re > 10^4$ ) наблюдается нерегулярная картина — турбулентный поток. В последней можно также усмотреть появление новой картины самоорганизации — порядка в хаосе (рис. 19, *г*).

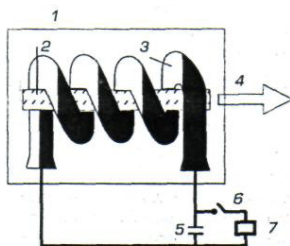


**Рис. 19.3. Рождение турбулентности при обтекании шара потоком жидкости:**

*а* — ламинарное течение; *б* — появление отдельных вихрей в кормовой части; *в* — развитие вихрей; *г* — развитая турбулентность.

Автор самого термина «синергетика» немецкий физик Герман Хакен исследовал механизмы кооперативных процессов, которые происходят в твердом лазере. Лазер является весьма распространенным прибором. В XX в. его стали широко применять в различных областях науки и техники. Не будем

вдаваться в особенности устройства этого прибора и происходящие там физические процессы, а лишь опишем на простом примере рубинового лазера схему его работы (рис. 19.4).

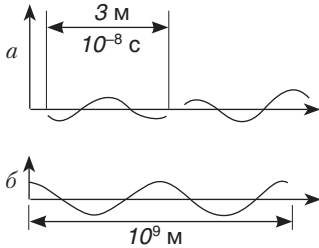


**Рис. 19.4. Схема рубинового лазера:**

1 — корпус; 2 — рубин; 3 — ксеноновая лампа накачки; 4 — излучение;  
5 — конденсатор; 6 — ключ; 7 — источник постоянного напряжения

В корпус 1 помещен рубиновый стержень 2, на одном конце которого имеется зеркало, а на втором — полупрозрачное зеркало 4. При разряде ксеноновой лампы 3 освещается рубиновый стержень и ее излучение поглощается рубином; этот процесс называется «накачкой» лазера. Процесс разряда осуществляется по следующей схеме: при замыкании ключа 6 от источника питания 7 заряжается конденсатор 5; при разрыве этой цепи происходит разряд конденсатора, импульсное излучение ксеноновой лампы и определенные длины волн поглощаются рубиновым стержнем. Излучение, поглощенное атомами рубинового стержня, как бы заряжает их дополнительной энергией и переводит в неустойчивое состояние. При возвращении к устойчивому состоянию происходит излучение рубинового лазера, но уже на другой длине волны. При ограниченной мощности накачки лазер работает как газоразрядная лампа, т.е. поглощение и излучение рубина происходит беспорядочно в разных длинах волн и в разные моменты времени (рис. 19.5). При некотором критическом значении мощности (рис. 19.6) резко возрастает мощность лазерного излучения, оно соответствует одной длине волны и протекает в одной фазе. Происходит согласованное кооперативное излучение волн, осуществляется переход от режима лампового излучения к лазерному режиму (когерентное излучение), в котором множество атомов излучает на одной длине волны и в одной фазе.

Иными словами, атомы, ранее испускавшие волны хаотично и независимо, начинают испускать один громадный по длине цуг волн, совершающий как бы одно коллективное движение. В этом состоит сущность кооперативного процесса и происходящей самоорганизации.



*Рис. 19.5. Волновые цуги, испускаемые газоразрядной лампой (а) и лазером (б)*



*Рис. 19.6. Зависимость мощности излучения от мощности накачки*

Хакен выяснил, что частицы, составляющие активную среду резонатора, под воздействием внешнего светового поля начинают колебаться в одной фазе. В результате этого между ними устанавливается когерентное, или согласованное, взаимодействие, которое в конечном итоге приводит к их кооперативному поведению. Исходя из этого, Хакен предложил для новой области науки название «синергетика». Синергетика, по Хакену, должна охватывать все проблемы, связанные с образованием упорядоченных структур в сложных системах в результате кооперативного поведения подсистем.

**Самоорганизация**, по определению Хакена, спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже «хаоса», спонтанный переход от неупорядоченного состояния к упорядоченному за счет совместного, кооперативного (синхронного) действия многих подсистем. Хакен считает, что название новой дисциплины синергетикой обусловлено тем, что в ней исследуется совместное действие многих элементов систем, и для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин. Таким образом, при самоорганизации из хаоса порождается порядок.

Процессы самоорганизации исследовали разные ученые в разных направлениях естествознания. В 1951 г. Б.П. Белоусов описал самоорганизующуюся химическую реакцию,

в которой возникают самоподдерживающиеся колебания во времени. Более подробно такого рода реакции были исследованы группой ученых под руководством А. М. Жаботинского. В этих реакциях малооновая кислота как органическое вещество окисляется броматами в растворе серной кислоты в присутствии определенного катализатора. В результате реакции раствор, в котором находятся эти вещества, начинает периодически менять свою окраску с голубого на красный. Так что этот самоорганизующийся процесс можно рассматривать как своеобразные «химические часы». В дальнейшем было обнаружено возникновение не только периодических структур во времени, но и в пространстве или одновременно в пространстве и во времени. Механизмы таких реакций весьма сложны.

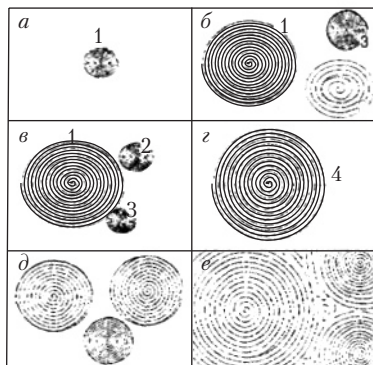
Жаботинский описал широкий класс химических волновых явлений, в которых наблюдалась пространственно-временная упорядоченность. При этом были реализованы как одномерные реакции в тонких трубках, так и двухмерные процессы (тонкие слои раствора между пластинами).

На рис. 19.7 показано развитие волны при плоской реализации явления. Сначала (а) возникает центр 1 изменения окраски, он появляется из-за локальной флуктуации концентрации; одновременно (б) возникают и новые концентрационные центры 2 и 3, последние потом могут быть поглощены (в) волнами от центра 1 и способствовать развитию (г) волновой концентрационной структуры 4. Возможны варианты (д и е) появления более сложной картины от многих начальных центров.

Можно показать, что пространственная устойчивость поддерживается за счет оттока энтропии из системы. При этом могут образовываться спиральные волны, они носят название ревербераторов. Такого типа образования довольно часто встречаются в биологических системах, например в строении лишайников.

Большой вклад в изучение этих процессов внес бельгийский физик И. Пригожин, который в Международном институте физики и химии установил связь между физико-химическими процессами в открытых неравновесных системах и биологической упорядоченностью. Теоретик самоорганизации И. Р. Пригожин пришел к своим идеям из анализа специфических химических реакций, которые приводят к образованию определенных пространственных структур с течением времени при изменении концентрации реагирующих веществ. Вместе со своими сотрудниками он





**Рис. 19.7. Последовательные кадры волновых химических процессов в тонких стеклах:**

*а* — появление ведущего центра; *б* — несколько центров; *в* — рост центра 1 за счет 2 и 3; *г* — возникновение суммарного центра; *д* и *е* — дальнейший ход процесса

построил математическую модель таких реакций. Теоретической основой модели стала нелинейная термодинамика, изучающая процессы, происходящие в нелинейных неравновесных системах под воздействием флуктуаций. Если такая система удалена от точки термодинамического равновесия, то возникающие в ней флуктуации в результате взаимодействия со средой будут усиливаться и в конце концов приведут к разрушению прежнего порядка или структуры, а тем самым и к возникновению новой системы. Структура и системы, возникающие при этом, И. Р. Пригожин назвал диссипативными, поскольку они образуются за счет диссипации, или рассеяния, энергии, использованной системой, и получения из окружающей среды новой, свежей энергии. За исследования по термодинамике диссипативных структур И. Р. Пригожину была присуждена Нобелевская премия.

Другой видный теоретик самоорганизации немецкий ученый М. Эйген доказал, что открытый Ч. Дарвином принцип отбора продолжает сохранять свое значение и на микроуровне. Поэтому он имел все основания утверждать, что генезис жизни есть результат процесса отбора, происходящего на молекулярном уровне. Он показал, что сложные органические структуры с адаптивными характеристиками возникают благодаря эволюционному процессу отбора,

в котором адаптация оптимизируется самими структурами. Предпосылками осуществления такой самоорганизации макромолекул являются взаимодействие системы со средой или открытость для обмена веществом и энергией, автотокатализ, мутации и естественный отбор.

Таким образом, медленно, но неуклонно в разных направлениях науки формировалось убеждение, что во всех этих исследованиях существует единое концептуальное ядро, которое служит общей их основой. Оно и составляет парадигму исследования процессов самоорганизации и синергетики. Синергетика сформулировала принцип самодвижения в неживой природе, создание более сложных систем из более простых. С этой парадигмой в физику проник эволюционный подход, и наука приходит к пониманию творения как создания нового. Синергетика рассматривала случайность на макроскопическом уровне, подтвердив тем самым выводы механики для микроскопического уровня.

В синергетике, в противоположность кибернетике, исследуются механизмы возникновения новых состояний, структур и форм в процессе самоорганизации, а не сохранения и поддержания старых форм. Поэтому она опирается на принцип положительной обратной связи, когда изменения, возникающие в системе, не подавляются и корректируются, а, наоборот, постепенно накапливаются и в конце концов приводят к разрушению старой и возникновению новой системы. Кибернетика отличается от синергетики тем, что она акцентирует внимание на анализе динамического равновесия в самоорганизующихся системах. Поэтому она опирается на принцип отрицательной обратной связи, согласно которому всякое отклонение системы после получения информации об этом корректируется управляющим устройством.

Таким образом, если кибернетика решает проблему рождения разума, то синергетика — проблему рождения матери.

Синергетика подтвердила вывод теории относительно-сти о взаимопревращении вещества и энергии и объясняет образование веществ. С точки зрения синергетики энергия как бы застывает в виде кристаллов, превращаясь из кинетической в потенциальную. Вещество — это застывшая энергия. Энергия — понятие, характеризующее способность производить работу, но энергия сейчас может пониматься

не только в смысле механической работы, но и как создатель новых структур. Энтропия — это форма выражения количества связанной энергии, которую имеет вещество. Энергия — творец, энтропия — мера творчества.

Синергетика отвечает на вопрос, за счет чего происходит эволюция в природе. Везде, где создаются новые структуры, необходим приток энергии и обмен со средой. Если в эволюции небесных тел мы видим результат производства, то в синергетике изучается процесс творчества природы. Синергетика подтверждает вывод теории относительности: энергия творит более высокие уровни организации.

Развитие понимается в синергетике как процесс становления качественно нового, того, что еще не существовало в природе и предсказать которое невозможно. Механизм, который ею предлагается, — это спонтанная флуктуация, событие в точке бифуркации, экспоненциальный процесс до определенного момента. Основным понятием является понятие неустойчивости. Так, из хаоса (неустойчивости) рождается космос. При спонтанной флуктуации поля начинается самопроизвольный процесс порождения частиц вплоть до какого-то момента, когда он прекращается. Частицы порождаются энергией по модели, сформулированной в синергетике. Первые частицы, которые появились, были нестабильными элементарными частицами без массы покоя и с кратчайшим временем существования. Затем они превратились в стабильные, существующие и поныне. Итак, последовательность рождения материи из вакуума: спонтанность флуктуации → точка бифуркации → черные мини-дыры → пространство-время → частицы.

Квантовый вакуум отличается от ничто тем, что имеет универсальные постоянные, которые могут служить аналогом всеединства. Размеры Вселенной растут по экспоненте как следствие неустойчивости вакуума. В результате расширения Вселенной при зарождении материи Вселенная приближается к первоначальному состоянию вакуума. Поэтому возможна новая флуктуация.

Необходимо подчеркнуть, что синергетика является научным направлением, изучающим открытые системы в состояниях, далеких от равновесия. Поэтому рассмотрим особенности эволюции неравновесных систем более подробно.

### 19.3. Самоорганизация — источник и основа эволюции

Что Дарвина ошибочно суждение:  
Была любовь причиною рожденья.

*Р. Гамзатов*

Современное эволюционное мышление сложилось в XVIII и XIX вв. и неразрывно связано с великими именами Канта, Гегеля, Маркса, Дарвина и Клаузиуса. Кант предпринял попытку объяснить происхождение мира, исходя из физических законов. То, что Кант — с немалой претензией — сделал для исследования космической эволюции, Гегель совершил для открытия общих законов диалектики. Марксу мы обязаны знанием некоторых законов общественной эволюции, а Дарвину — обоснованной теорией происхождения видов. Дарвин сформулировал принцип отбора и продемонстрировал его значение для эволюции в биологии. Лингвист Шлейхер около 1850 г. совершенно независимо от Дарвина установил аналогичный принцип для развития естественных языков и тем самым заложил основы теории эволюции языковой коммуникации. Клаузиус сформулировал важнейший закон процессов эволюции — второе начало термодинамики. К Клаузиусу восходят первые соображения относительно физически обоснованных моделей космического развития. Сколько сомнительным может казаться с современной точки зрения вывод Клаузиуса о «тепловой смерти» Вселенной, именно этот вывод послужил толчком к развитию теоретической мысли, которая в работах Эйнштейна, Фридмана и Гамова привела к ныне широко принятой релятивистско-термодинамической модели эволюции. Современная теория эволюции, основанная на концепции самоорганизации, считает процесс эволюции как неограниченную последовательность процессов самоорганизации систем.

Эволюционная теория Дарвина послужила мощным толчком для развертывания исследований о механизмах развития различных природных и социальных систем. Если физические и химические методы исследования многое дали для анализа структуры и функционирования живых систем, то эволюционная концепция биологии заставила физиков и химиков по-новому взглянуть

на объекты своих исследований и природу в целом. В самом деле, если в теории Дарвина эволюция приводила к совершенствованию и усложнению живых систем в результате их адаптации к изменяющимся условиям среды, то в классической физике она связывалась с дезорганизацией и разрушением системы. Такое представление вытекало из второго начала термодинамики, согласно которому закрытая система постепенно эволюционирует в сторону беспорядка, дезорганизации и увеличению энтропии. Понятие энтропии характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для производства работы. Поэтому, в отличие от свободной энергии, она представляет собой деградированную, отработанную энергию. Если обозначить свободную энергию  $F$ , энтропию —  $S$ , то полная энергия системы  $E = F + S \cdot T$ .

Согласно второму закону термодинамики энтропия в замкнутой системе постоянно возрастает и в конечном счете стремится к своему максимальному значению. Следовательно, по степени возрастания энтропии можно судить об эволюции замкнутой системы, а тем самым и о времени ее изменения. Немецкий ученый Л. Больцман стал интерпретировать энтропию как меру беспорядка в системе. Таким образом, второй закон можно было теперь сформулировать так: замкнутая система, предоставленная самой себе, стремится к достижению наиболее вероятного состояния, заключающегося в ее максимальной дезорганизации. К такому равновесному состоянию в соответствии со вторым началом термодинамики приходят все закрытые системы, т.е. системы, не получающие энергии извне. Противоположные по типу системы носят название открытых.

Резкое противоречие между биологической и физической эволюцией удалось разрешить только после того, когда физика обратилась к понятию открытой системы, т.е. системы, которая обменивается с окружающей средой веществом, энергией и информацией. При определенных условиях в открытых системах могут возникнуть процессы самоорганизации в результате получения новой энергии и вещества извне и диссипации, или рассеяния, использованной в системе энергии. Таким образом, было установлено, что ключ к пониманию процессов самоорганизации

содержится в исследовании процессов взаимодействия системы с окружающей средой.

Эволюцию можно рассматривать как неограниченную последовательность процессов самоорганизации. Общая схема процесса эволюции при этом принципиально сводится к следующему:

1. Относительно стабильное  $n$ -е состояние эволюции утрачивает устойчивость. В качестве причин, вызывающих потерю устойчивости, выступают временные изменения внутреннего состояния или наложенных краевых условий.

Особенно характерной причиной эволюционной неустойчивости является внезапное появление новой моды движения, новой разновидности молекул в химии, нового вида в биологии. Этот новый элемент в рассматриваемой динамической системе приводит к потере устойчивости состояния системы, которое до появления нового элемента было устойчивым (рис. 19.8).

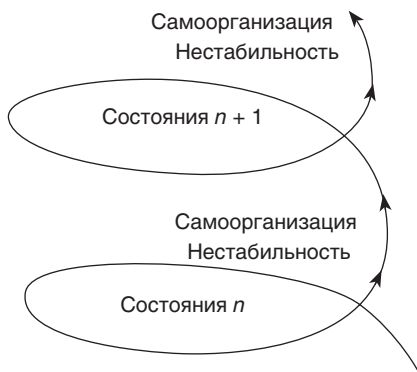


Рис. 19.8. Спиральная структура процессов эволюции

2. Неустойчивость, обусловленная новым элементом в системе, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы. Система порождает новые упорядоченные структуры.

3. По завершении процесса самоорганизации эволюционная система переходит в эволюционное состояние  $(n + 1)$ . После этого  $n$ -го эволюционного цикла начинается новый  $(n + 1)$ -й эволюционный цикл.

## 19.4. Особенности эволюции неравновесных систем

Наука — самое важное, самое прекрасное  
и самое нужное в жизни человека.

*А.П. Чехов*

Законы термодинамики, являющиеся обобщением большого количества экспериментального материала, опыта, утверждают, что изолированная, замкнутая система со временем приходит в положение равновесия. С молекулярно-кинетической точки зрения положению равновесия отвечает состояние максимального хаоса. При удалении от равновесия состояние становится все более неустойчивым и даже малые изменения какого-либо параметра могут перевести систему в новое состояние. Поэтому при изучении образования новых структур от замкнутых систем следует перейти к рассмотрению систем открытых, которые могут обмениваться с окружающей средой веществом или энергией, т.е. неравновесным состояниям. Отличия неравновесной структуры от равновесной заключается в следующем:

1. Система реагирует на внешние условия (гравитационное, электромагнитное поля и т.п.).

2. Поведение системы случайно и не зависит от начальных условий, т.е. не зависит от предыстории.

3. Приток энергии создает в системе порядок, и, стало быть, энтропия уменьшается.

4. Наличие в развитии системы бифуркации — переломной точки.

5. Когерентность — система ведет себя как единое целое и как если бы она была вмещителем дальнедействующих сил.

Таким образом, различают области равновесности и неравновесности, в которых может пребывать система. Ее поведение при этом существенно меняется.

Изучение неравновесных состояний позволяет прийти к общим выводам относительно эволюции в неживой природе, при которой происходит переход от хаоса к порядку. Эволюция неживой природы является сложным вероятностным процессом с весьма варьирующимся соотношением детерминированных и стохастических компонентов, и поэтому ее общий ход в чем-то непредсказуем. Непредсказуемость эволюции не абсолютная. Одни детали предвидеть невозможно, другие детали можно предвидеть с большей или меньшей до-

стоверностью, где слишком многое зависит от обстоятельств, объективно случайных по отношению к ходу процесса.

Эволюция системы должна удовлетворять следующим трем требованиям:

1) в развитии системы наблюдается необратимость, выражающаяся в нарушении симметрии между прошлым и будущим;

2) возникает необходимость введения при рассмотрении развития понятия «событие»;

3) некоторые события должны обладать способностью изменять ход эволюции.

При этом основными условиями формирования новых структур являются следующие: 1) открытость системы; 2) нахождение ее вдали от равновесия; 3) наличие флуктуаций в системе.

Чем сложнее система, тем больше многочисленных типов флуктуаций, угрожающих ее устойчивости. Но в сложных системах существуют связи между различными частями. От исхода конкуренции между устойчивостью, обеспечивающей связью, и неустойчивостью, возникающей из-за флуктуации, зависит порог устойчивости системы. Превзойдя этот порог, система попадает в критическое состояние, называемое точкой бифуркации. В ней система становится неустойчивой относительно флуктуаций и может перейти к новой области устойчивости, т.е. к образованию новой более сложной системы. Система как бы колеблется перед выбором одного из нескольких путей ее эволюции. Небольшая флуктуация может послужить в этой точке началом эволюции в совершенно новом направлении, которое резко изменит все ее поведение. Это и есть событие.

В точке бифуркации случайность подталкивает то, что остается от системы, на новый путь развития; а после того как один из многих возможных вариантов выбран, вновь вступает в силу детерминизм — и так до следующей точки бифуркации. В судьбе системы случайность и необходимость взаимно дополняют друг друга.

Главенствующую роль в эволюции окружающего мира играют не порядок, стабильность и равновесие, а неустойчивость и неравновесность, т.е. все системы непрестанно флуктуируют. В особой точке бифуркации флуктуация достигает такой силы, что организация системы не выдерживает и разрушается, и принципиально невозможно предсказать: станет ли состояние системы хаотическим или она



перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности, который называют диссипативной структурой. Новые структуры называются диссипативными, потому что для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых структур, на смену которых они приходят. Диссипативные структуры существуют лишь постольку, поскольку система диссипирует (рассеивает) энергию и, следовательно, изменяет энтропию. Из энергии возникает порядок с увеличением общей энтропии. Таким образом, энтропия — не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации (как думали сторонники «тепловой смерти» Вселенной), а при определенных условиях становится прародительницей порядка. С одними и теми же граничными условиями оказываются совместимы множество различных диссипативных структур. Это следствие нелинейного характера сильно неравновесных ситуаций. Малые различия могут привести к крупномасштабным последствиям. Следовательно, граничные условия необходимы, но не достаточны для объяснения причин возникновения структуры. Необходимо также учитывать реальные процессы, приводящие к «выбору» одной из возможных структур. Именно поэтому (а также в силу некоторых иных причин) приписывают таким системам определенную «автономию» или «самоорганизацию».

## 19.5. Самоорганизация в различных видах эволюции

На скорлупу и ядро бесцельно делить природу. Все в ней нераздельно.

*Гете*

Теория самоорганизации, возникшая на основе исследования простейших физико-химических систем, оказалась способной объяснить многие эволюционные процессы, происходящие в биологических, экологических и даже в социальных и культурных системах. Но главное преимущество ее состоит в том, что новая парадигма помогает взглянуть на мир и составляющие ее системы с точки зрения их возникновения и развития без привлечения каких-либо мистических сил. Учение о самоорганизации может раскрыть механизмы эволюции от простейших систем живой природы

до сложных форм эволюции в биологических, социально-экономических и культурно-исторических системах.

Несмотря на существенное отличие эволюции неживой природы от эволюции биологической, между ними существует также большое сходство и, можно даже сказать, глубокая аналогия. С этой точки зрения представляется интересным определение жизни, данное известным австрийским физиком Э. Шредингером. По его определению, «жизнь — это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время. Средством, при помощи которого организм поддерживает себя на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), является энергия, получаемая организмом из окружающей среды с продуктами питания».

Многие видные ученые характеризуют также социальную эволюцию как продолжение биологической или генетической эволюции другими средствами. Некоторые даже считают культуру более мощным средством приспособления. Новейшая концепция эволюции, опирающаяся на парадигму самоорганизации, оказывается более адекватной и для анализа социально-культурной эволюции.

Таким образом, самоорганизация выступает как источник эволюции систем и жизни, так как она служит началом процесса возникновения новых и более сложных структур в развитии системы.

Социальная эволюция так же, как и эволюция природная, возникает в результате взаимодействия с окружающей средой. В природе адаптация к изменениям среды происходит путем естественного отбора, в результате которого побеждают в борьбе за существование и оставляют потомство наиболее пригодные к условиям существования группы растений и животных. Таким образом, эволюция здесь — результат генетической передачи информации от родителей к потомкам.

У общества существуют собственные методы и средства передачи приобретенного опыта, причем не только индивидуального, но и социального характера. Эти методы характеризуют как традиции. Традиции придают социальной эволюции больший динамизм по сравнению с эволюцией генетической, которая наблюдается в природе. Сюда относятся все способы передачи опыта, начиная от простей-

ших навыков и правил поведения и кончая сложнейшими приемами профессиональной деятельности, накопленными знаниями и общечеловеческими нормами поведения. Действительно, социальная и культурная эволюция связана не только с передачей индивидуального опыта, навыков, знаний и правил поведения и традиций всех предшествующих поколений людей в той мере, в какой они зафиксированы и объективизированы в результатах практической и интеллектуальной деятельности.

## Выводы

1. При определенных неравновесных условиях в открытой системе за счет внутренних перестроек могут возникнуть упорядоченные структуры. Эту особенность системы назвали *самоорганизацией*, а сами структуры, возникающие в диссипативных системах при неравновесных необратимых процессах, Пригожин назвал *диссипативными*. Под влиянием действия крупномасштабных флуктуаций возникают коллективные формы движения, между которыми начинается конкуренция, происходит отбор устойчивых, возникают новые структуры.

2. Устойчивые состояния не теряют устойчивости при флуктуациях параметров — влияние флуктуаций погашается за счет внутренних процессов. Неустойчивые системы, наоборот, начинают усиливать флуктуации.

3. Хакен выделил в спонтанном переходе к организации роль коллективных процессов, коллективного действия многих подсистем. Отсюда и название складывающейся концепции — синергетика. *Синергетика* изучает механизмы взаимодействия в сложных открытых системах с положительной обратной связью. Это взаимодействие ведет к согласованному, кооперативному поведению подсистем и сопровождается образованием новых устойчивых структур и самоорганизацией системы.

4. Самоорганизация выступает как источник эволюции систем, так как она служит началом процесса возникновения качественно новых и более сложных структур в развитии системы. Образование упорядоченных структур происходит в открытых системах при достижении определенного порогового значения в далеком от равновесия состоянии. На микроуровне при самоорганизации происходит процесс расширения или увеличения флуктуаций вследствие увеличения неравновесности системы под воздействием среды.

Переход скачком в новое состояние с потерей линейности законов называют бифуркацией. Этот процесс остается незаметным на макроуровне, пока изменения не достигнут некоторой критической точки, после которой спонтанно возникает новый порядок или структура.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Знаний сердце мое никогда не чуждалось.  
Мало тайн, мной не познанных, в мире осталось.  
Только знаю одно: ничего я не знаю —  
Вот итог всех моих размышлений под старость.

*О. Хайям*

### План семинара

1. Неравновесные системы. Синергетика.
2. Формирование идей самоорганизации.
3. Диссипативные структуры.
4. Самоорганизация как основа эволюции.
5. Самоорганизация в различных видах.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Бифуркация** (лат. «bifurcus» — раздвоенный) — разветвление в траектории движения системы в определенной точке (бифуркации).

**Диссипация** (лат. «dissipatio» — рассеивание) энергии — переход энергии упорядоченного движения в энергию хаотического движения (теплоту).

**Диссипативные структуры** — новые структуры, требующие для своего становления большого количества энергии.

**Информация** (лат. — ознакомление, разъяснение) — мера организованности системы.

**Мутация** (лат. «mutatio» — изменение, перемена) — внезапное изменение наследственных структур, вызванное естественным или искусственным путем.

**Самоорганизация** — процесс взаимодействия элементов, в результате которого происходит возникновение нового порядка или структуры в системе (переход от хаоса к порядку).

**Синергетика, теория самоорганизации** — междисциплинарное научное направление, изучающее открытые системы в состояниях, далеких от равновесия.

**Флуктуация** (лат. «fluctuatio» — колебания) — случайные отклонения системы из большого числа частиц от некоторого равновесного положения.

**Эволюция** (лат. «evolutio» — развертывание) — одна из форм развития в природе и обществе: непрерывное, постепенное, количественное изменение, приводящее к существенным качественным изменениям объектов или явлений. Например, эволюция органического мира.

**Энтелехия** — в философии Аристотеля целенаправленное активное начало, превращающее возможность в действительность.

### Тестовые задания

1. Какое из условий характеризует равновесную систему?
  - а) система реагирует на внешние условия;
  - б) поведение системы случайно и не зависит от начальных условий;
  - в) энтропия системы увеличивается и стремится к максимуму;
  - г) приток энергии создает в системе порядок, т.е. энтропия уменьшается;
  - д) в развитии системы имеется переломная точка, т.е. бифуркация.
2. Какому условию не удовлетворяет процесс эволюции?
  - а) необратимость, выражающаяся в нарушении симметрии между прошлым и будущим;
  - б) необходимость введения понятия «событие»;
  - в) энтропия системы увеличивается;
  - г) некоторые события обладают способностью изменять ход эволюции.
3. Что происходит с энтропией системы в процессе ее самоорганизации?
  - а) увеличивается;
  - б) уменьшается;
  - в) не изменяется;
  - г) становится равной нулю;
  - д) стремится к максимуму.

4. Кто является автором термина «синергетика»?
  - а) Г. Хакен;
  - б) И. Пригожин;
  - в) Б. Белоусов;
  - г) А. Жаботинский;
  - д) Н. Винер.
5. В каком случае не формируются новые структуры?
  - а) открытость системы;
  - б) нахождение ее вдали от равновесия;
  - в) наличие в системе флуктуаций;
  - г) закрытость системы;
  - д) нахождение системы в точке бифуркации.
6. Что характеризует меру неорганизованности системы?
  - а) энтропия;
  - б) информация;
  - в) энергия;
  - г) кибернетика;
  - д) холизм.
7. Чем объясняется современной наукой процесс эволюции в неживой природе?
  - а) флуктуациями в системе;
  - б) самоорганизацией открытых систем;
  - в) увеличением энтропии;
  - г) накоплением энергии в системе;
  - д) естественным отбором.
8. Кто изучал процессы самоорганизации с помощью термодинамики диссипативных структур при химических реакциях?
  - а) Г. Хакен;
  - б) И. Пригожин;
  - в) Б. Белоусов;
  - г) А. Жаботинский;
  - д) Л. Больцман.
9. Кто изучал процессы самоорганизации с помощью термодинамики диссипативных структур?
  - а) Г. Хакен;
  - б) И. Пригожин;
  - в) Б. Белоусов;
  - г) А. Жаботинский;
  - д) Л. Больцман.

10. Что означает точка бифуркации?
  - а) точка разделения;
  - б) точка раздвоения;
  - в) точка соединения;
  - г) точка разложения;
  - д) точка синтеза.
11. Какой момент не характерен для самоорганизации системы?
  - а) открытость системы;
  - б) неравновесность системы;
  - в) наличие в системе точки бифуркации;
  - г) закрытость системы;
  - д) диссипативность системы.
12. Что характеризует меру организованности системы?
  - а) энтропия;
  - б) информация;
  - в) энергия;
  - г) кибернетика;
  - д) холизм.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Почему концепция самоорганизации превратилась сегодня в парадигму исследования обширного класса сложно-организованных систем?
2. Какие исследования называют междисциплинарными? Приведите примеры.
3. Кем и в какой науке впервые были высказана идея самоорганизации?
4. В чем состояло противоречие между эволюционной теорией Дарвина и классической термодинамикой?
5. Объясните, как происходит самоорганизация в лазерах, которые изучал Г. Хакен?
6. В чем состоят особенности самоорганизации в химических реакциях?
7. Какие структуры называют диссипативными и почему?
8. Чем отличаются подходы к самоорганизации в кибернетике и синергетике?
9. Почему самоорганизация выступает основой и источником эволюции?
10. Какие методы и средства передачи накопленного опыта существуют у общества? Какую роль они играют в социальной и культурной эволюции?

11. Что представляет собой самоорганизующаяся система?
12. Какие различают этапы для самоорганизующихся систем?
13. Какие основные положения составляют сущность концепции развития?
14. Что означает системность в описании самоорганизующихся процессов?
15. Что характеризует динамизм самоорганизующихся систем?
16. В чем заключается самоорганизация структурных систем?
17. Какова роль объединения и фракционирования в процессе развития системы?
18. Что означает точка бифуркации?

### Тематика рефератов

1. Самоорганизация в физико-химических процессах.
2. Организация и самоорганизация в живой природе.
3. Значение синергетики для современного естественно-научного познания.
4. Роль мутаций и окружающей среды в эволюции живого.
5. Мои представления о самоорганизации процессов в природе.
6. Информативность — важное свойство самоорганизации.
7. Концепция самоорганизации и ее становление.

### Литература

1. *Пригожин, И. Р.* Порядок из хаоса / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. — М., 1986.
2. *Рузавин, Г. И.* Самоорганизация и организация в развитии общества // Вопросы философии. — 1995. — № 8.
3. *Хакен, Г.* Синергетика. — М., 1980.
4. *Шредингер, Э.* Что такое жизнь с точки зрения физика. — М., 1972.
5. *Дягилев, Ф. М.* Концепции современного естествознания. — М., 1998.
6. *Смирнов, И. Н.* Материалистическая диалектика и современная теория эволюции. — М., 1998.



## Глава 20

# СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И БУДУЩЕЕ НАУКИ

### 20.1. Естествознание и мировоззрение

Для нас наука естествознания — тот рычаг  
Архимеда, который единственно способен  
повернуть лицом к солнцу разума.

*М. Горький*

Основная цель современного естествознания — познание мира, формирование нашего личного мировоззрения. Так что же такое мировоззрение? Самая древняя форма мировоззрения — это мифология и религия — фантастическое отражение действительности, возникавшее в сознании первобытного человека.

**Миф (мифология)** — это особый вид мировоззрения, где в ранней форме человеческой культуры объединялись зачатки знаний, религиозных верований, нравственная, эстетическая и эмоциональная оценка ситуации. Содержание мифа давало возможность первобытному человеку устанавливать духовную связь прошлого с будущим. Поэтому значительную часть мифологии составляли космические мифы, посвященные устройству окружающей природы, возникновению и развитию животных и людей.

**Религия** основана на вере в сверхъестественное и апеллирует к чувствам и образам, к иррациональному. Религиозное мировоззрение выражается в общении с «божеством», со «сверхъестественным» при помощи молитв, таинств, святынь, символики. Оно основано на молитвенном и жертвенном отношении к сверхъестественному, признание которого всегда скрыто в глубинах мировых религий. В религиозном мировоззрении человеческая личность принижена, подавлена.

**Научное мировоззрение** — это взгляд на мир (Вселенную), на природу и общество, на все, что нас окружает и что происходит в нас самих, всецело основанный на достижениях современных наук, проникнутый методом научного познания и не оставляющий места различного рода суевериям, предрассудкам, донаучным и ненаучным способам мышления. Научное мировоззрение — это взгляд на мир и на место человека в этом мире, который отражает вещи и процессы такими, какими они существуют в действительности, без вымыслов, заблуждений и лжи; оно основано всецело на достигнутом уровне знаний всех наук.

Понятие научности применительно к мировоззрению означает ряд его существенных признаков:

1. Это прежде всего объяснение фактов, осмысление их во всей системе понятий соответствующей науки.

2. Выявление причинных и закономерных связей вещей, когда, в частности, за случайным усматривается необходимое, за единичным — общее.

3. Научность предполагает предвидение, предвосхищение событий, раскрытие дали грядущих явлений и процессов.

4. Существенным признаком научного мировоззрения является его системность, т.е. такая совокупность научных идей, которая приведена в порядок на основании определенных теоретических принципов.

Обобщенная система знаний человека о природных явлениях и о его отношении к основным принципам бытия природы составляют естественно-научный аспект мировоззрения. Является ли природа движущей материей или она зависит от каких-то сверхъестественных сил? Бесконечно ли мироздание в пространстве и времени или конечно? Одиноки ли мы, живые разумные существа, во Вселенной или в иных мирах существуют также разумные существа? Каково строение материи и движущие силы ее развития? Имеет ли место развитие по пути прогресса или природа движется по кругу? Все эти и многие другие аналогичные вопросы носят мировоззренческий характер. Любое мировоззрение содержит в себе знания, определенную информацию о природе, общественной жизни, о человеке и познании. Мировоззрение — это характер и направление мышления, духовная сердцевина и основа человеческой индивидуальности. Оно является социальным способом существования личности, в котором содержатся основные жизненные позиции, убеждения, идеалы, основные принципы познания и деятельности. Мировоззрение — необходимая составляющая человеческого сознания, познания.

Это не просто один из его элементов в ряду многих других, а их сложное взаимодействие. Разнородные «блоки» знаний, убеждений, мыслей, чувств, настроений, стремлений, надежд, соединяясь в мировоззрении, предстают как более или менее целостное понимание людьми мира и самих себя.

Мировоззрение — образование интегральное. В нем принципиально важна связь его компонентов, их «сплав». И как в сплаве различные сочетания элементов, их пропорции дают разные результаты, так нечто подобное происходит и с мировоззрением. В состав мировоззрения входят и играют в нем важную роль обобщенные знания повседневные, или жизненно-практические, профессиональные, научные. Чем солиднее запас в ту или иную эпоху, у того или иного народа или отдельного человека, тем более серьезную опору может получить соответствующее мировоззрение. Наивное, непросвещенное сознание не располагает достаточными средствами для четкого, последовательного, рационального обоснования своих взглядов и часто обращается к фантастическим вымыслам, поверьям, обычаям.

**Мировоззрение** — комплексная форма сознания, объемлющая самые разные «пласты» человеческого опыта, — способно раздвигать узкие рамки повседневности, конкретного места и времени, соотносить данного человека с другими людьми, включая и тех, что жили раньше, будут жить потом. В мировоззрении накапливается опыт уяснения смысловой основы человеческой жизни, все новые поколения людей приобщаются к духовному миру прадедов, дедов, отцов, современников, что бережно храня, от чего-то решительно отказываясь. Итак, мировоззрение — это совокупность взглядов, оценок, принципов, определяющих самое общее видение, понимание мира.

## 20.2. Естествознание и философия

Если у вас яблоко и у меня яблоко, и мы обмениваемся, то остаемся при своих — у каждого по яблоку. Но если у каждого у нас по одной идее, и мы передаем их друг другу, то ситуация меняется. Каждый из нас становится богаче, а именно — обладателем двух идей.

*Б. Шоу*

Обсуждение многих мировоззренческо-философских вопросов сопровождало становление и развитие современ-

ной науки и было необходимой формой осознания особенностей как самой науки, так и той цивилизации, в рамках которой научное отношение к миру стало возможным. Сегодня эти вопросы стоят в новой и весьма острой форме. Это связано прежде всего с той ситуацией, в которой оказалась современная цивилизация. С одной стороны, выявились невиданные перспективы науки и основанной на ней техники. Современное общество вступает в информационную стадию развития, рационализация всей социальной жизни становится не только возможной, но жизненно необходимой. С другой — обнаружился предел развития цивилизации односторонне технологического типа: и в связи с глобальным экологическим кризисом, и как следствие выявившейся невозможности тотального управления социальными процессами. Эти вопросы требуют философского обоснования.

Наука в своих глубинных основах всегда была связана с философией. В Древней Греции философия зародилась в качестве всеобъемлющей науки — само слово «философия» означает «наука». Эта наука была направлена на все, что вообще было способно или казалось способным стать объектом познания. Будучи сначала единой и нераздельной наукой, философия, при дифференцированном состоянии отдельных наук, становилась в некоторой степени органом, соединяющим результаты деятельности всех остальных наук в одно общее познание, отчасти проводником нравственной и религиозной жизни.

Первую попытку обозначить круг задач философии при существующих и только начинающих формироваться конкретных науках в свое время предпринял Аристотель. В отличие от частных наук, каждая из которых занята исследованием в своей области явлений, он определил философию как учение о первопричинах, первопринципах, самых общих началах бытия. Ее теоретическое величие представилось Аристотелю несоизмеримым с возможностями частных наук и вызывало его восхищение. Он назвал эту область знания «госпожой наук», считая, что другие науки, как рабыни, не могут сказать ей против ни единого слова. В размышлениях Аристотеля отражено характерное для его эпохи резкое расхождение философской мысли и специальных дисциплин по уровню их теоретической зрелости. Такая ситуация сохранялась в течение многих веков. Подход Аристотеля надежно утвердился

в сознании философов титулами «королева наук» и «наука наук».

В XIX—XX вв., на новом этапе развития знаний, зазвучали противоположные суждения о значении науки и неполноценности философии. В это время возникло и приобрело влияние философское течение позитивизма, поставившего под сомнение познавательные возможности философии, ее научность, одним словом развенчивающее «королеву наук» в «служанки». В позитивизме был сформирован вывод о том, что философия это суррогат науки, имеющий право на существование в те периоды, когда еще не сложилось зрелое научное познание. На стадиях же развитой науки познавательные притязания философии объявляются несостоятельными. Провозглашается, что зрелая наука — сама по себе философия, что именно ей посильно «брать на себя» и успешно решать запутанные философские вопросы, будоражившие умы в течение столетий.

Непосредственной целью науки является описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения, на основе открываемых ею законов. Философия всегда в той или иной степени выполняла по отношению к науке функции методологии познания и мировоззренческой интерпретации ее результатов. Философия объединяет с наукой также и стремление к теоретической форме построения знания, к логической доказательности своих выводов.

Таким образом, специфика науки не только в том, что она не берется за изучение мира в целом, подобно философии, а представляет собой частное познание, но и в том, что результаты науки требуют эмпирической проверки. В отличие от философских утверждений они не только подтверждаемы с помощью специальных практических процедур или подвержены строгой логической выводимости, как в математике, но и допускают принципиальную возможность их эмпирического опровержения. Все это позволяет провести разделительную линию между философией и наукой.

Отсутствием окончательных ответов на вечные вопросы о смысле жизни и человеческого существования отличается философия от науки, с одной стороны, и от религии — с другой. Философские системы нельзя полностью подтвердить или опровергнуть: они говорят о мире в целом, претендуя на вселенский масштаб. Критерий истинности — практика — к ним не применим. Научные положения име-

ют конкретные следствия, которые могут быть проверены непосредственно или с помощью соответствующих приборов. Философские положения не имеют проверяемых следствий.

Но в отличие от религии философские построения основываются на научных данных, тогда как для религии основным остается Откровение, а его не легко модифицировать под влиянием новых научных открытий. Наука занимается трансцендентальным (посюсторонним), религия — трансцендентным (потусторонним). Для философии характерно рассмотрение обеих областей в единстве. Все связано со всем в реальном и духовном мире. Связующим звеном между наукой и религией служит философия, которой присуща неудовлетворенность хождением по равнине опытной науки и постоянное стремление вверх с опасностью упасть в пропасть.

В отличие от науки с приматом чувственного опыта и религии с культом авторитета, в философии большое значение приобретает интуиция. Философское знание — знание об универсуме, и оно может считаться полноценным в том случае, если имеется метод постижения целого.

Наука предоставляет аргументы в пользу какой-либо философской системы, дает эмпирический материал, на основе которого выдвигаются философские гипотезы. В этом ее философское значение, и отсюда понятна борьба за философские выводы из научных открытий. Наука предоставляет информацию для философии, оставляя широкое поле для философских размышлений по поводу ее развития. Различные проблемы, возникающие в науке и теории познания, способствуют развитию философской мысли.

Ученых порой представляли в качестве так называемых стихийных материалистов, уверяя, что им присуща изначальная вера в материальность мира. Вообще говоря, это не обязательно. Можно верить, что Некто или Нечто передает людям чувственную информацию, а ученые считают, группируют, классифицируют и перерабатывают ее. Эту информацию наука рационализирует и выдает в виде законов и формул вне отношения к тому, что лежит в ее основе. Поэтому ученый может вполне быть как стихийным материалистом или идеалистом, так и сознательным последователем какой-либо философской концепции. Такие ученые, как Декарт и Лейбниц, сами были выдающимися философами своего времени.

Специалисты, изучающие всевозможные конкретные явления, нуждаются в общих, целостных представлениях о мире, о принципах его устройства, общих закономерностях и т.д. Однако сами они таких представлений не вырабатывают — в конкретных науках используется универсальный мыслительный инструментарий (категории, принципы, различные методы познания), но ученые специально не занимаются разработкой, систематизацией, осмыслением познавательных приемов, средств. Общемировоззренческие и теоретико-познавательные основы науки изучаются, отрабатываются и формируются в сфере философии.

Философский анализ научных понятий формирует категории, из которых строится здание философской системы. Правда, для того чтобы войти в ткань философии, научные понятия должны быть модифицированы с целью их согласования в единой системе. Так, впрочем, поступает и наука. Философский анализ научных понятий полезен и тем, что связанная с ним унификация понятий способствует синтезу различных областей знания.

Итак, философия и наука довольно сильно взаимосвязаны, у них есть много общего, но есть и существенные различия. Поэтому философию нельзя однозначно причислять к науке и, наоборот, нельзя отрицать ее научность. Философия — отдельная форма познания, имеющая научные основы, проявляющая себя в те моменты и в тех областях научного знания, когда теоретический потенциал в этих областях либо мал, либо вообще отсутствует.

Взаимодействие философии и науки хорошо прослеживается в творчестве многих естествоиспытателей. Особенно оно характерно для переломных эпох, когда создавалось принципиально новое научное знание. Можно вспомнить, скажем, «Правила умозаключений в физике», разработанные великим Ньютоном, которые заложили методологический фундамент классической науки и на столетие вперед стали эталоном научного метода в физико-математическом естествознании. Значительное внимание философским проблемам уделяли и создатели неклассической науки — Эйнштейн и Бор, Борн и Гейзенберг, а у нас в России — В. И. Вернадский, предвосхитивший в своих философских размышлениях ряд особенностей научного метода и научной картины мира наших дней.

Высоко оценивая роль философской мысли в науке, В. И. Вернадский, однако, проводил между ними границу,

хорошо понимая, что каждая из этих сфер человеческой культуры имеет свою специфику. Игнорирование этой автономии научной деятельности, грубое вмешательство в научные исследования факторов ненаучных, да еще в догматическом виде, сказалось на судьбе многих выдающихся ученых: всем памятны имена Н. И. Вавилова, Н. К. Колцова и др. Осуждению и репрессиям подвергались целые науки и направления научного поиска (генетика, кибернетика, релятивистская космология и др.). Некомпетентное вмешательство в науку не раз создавало препятствия для свободного научного исследования. Нельзя забыть и попытки ряда естествоиспытателей, которые отстаивали свои несостоятельные концепции с помощью псевдофилософской риторики. Примерами этого изобилует развитие практически всех наук определенной эпохи. Но все они не бросают тень на саму идею связи науки и естествознания, сотрудничества специалистов разных областей науки с философами.

Нуждается в философском осмыслении и современная наука, которая имеет ряд особенностей, качественно отличающих ее от науки даже недавнего прошлого. Говоря об этих особенностях, следует иметь в виду не только научно-исследовательскую деятельность саму по себе, но и ее роль в качестве интеллектуального фундамента технологического прогресса, стремительно меняющего современный мир, а также социальные последствия современной науки.

### 20.3. Естествознание и научно-техническая революция

Наука необходима народу.  
Страна, которая ее не развивает,  
неизбежно превращается в колонию.

*Ф. Жолио-Кюри*

**Научно-техническая революция (НТР)** означает скачок в развитии производительных сил общества, переход их в качественно новое состояние на основе коренных сдвигов в системе научных знаний.

Когда говорят о научно-технической революции, в *первую очередь* подразумевают именно процесс интеграции науки



и производства. Однако было бы неправильно все сводить только лишь к первой составляющей современной НТР.

*Во-вторых*, понятие «научно-техническая революция» включает в себя революцию в подготовке кадров и во всей системе образования. Новая технология требует нового работника — более культурного и образованного, гибко приспособляющегося к техническим нововведениям, высокодисциплинированного, имеющего к тому же навыки коллективного труда, что является характерной чертой новых технических систем.

*В-третьих*, важнейшей составляющей НТР является подлинная революция в организации производства и труда, в системе управления. Новой технике и технологии соответствует и новая организация производства и труда.

Современная НТР была подготовлена колоссальным развитием наук о природе. Исходным здесь явились научные достижения второй половины XIX в. При анализе достижений естествознания XIX в. исследователи обычно обращают внимание на развитие физико-математических наук, на разработку математически «оформленных» научных теорий. И действительно, как отмечалось выше, успехи этих наук поразительны. Были созданы основы учения о тепловых процессах (термодинамика), об электричестве и электромагнитных процессах (электродинамика Максвелла), о строении вещества, о кристаллах. Физико-математические отрасли естествознания цементируют собой науки о природе. Они служат основой для создания новых технических устройств. В XIX в. особо впечатляющие успехи были достигнуты в области физики в результате овладения электричеством. Не менее важные открытия были сделаны в химии и биологии. Достаточно упомянуть имена таких ученых, как К. Линней, Ч. Дарвин, Л. Пастер, Д. Менделев и др., открытия которых в этих науках имели громадные практические последствия.

Начало НТР принято относить к середине 50-х гг. XX в. В этот период сделан ряд фундаментальных открытий в естественных науках и осуществлено их производственное применение. Это время овладения энергией атома, создания первых ЭВМ и квантовых генераторов, выпуска серий полимерных и других искусственных материалов, выхода человека в космос.

В XX в. теоретическим ядром НТР становятся важнейшие достижения современного естествознания, в частности

его пяти лидирующих наук: физики, химии, биологии, кибернетики, космологии. К их числу прежде всего относятся: 1) открытия физики твердого тела, ядра, элементарных частиц, плазмы; 2) глубокий анализ и синтез; 3) молекулярные основы наследственности и жизни, химическая природа нервных возбуждений; 4) математическая формализация процессов, информатизация, автоматизация и компьютеризация развивающихся систем; 5) теория познания и овладения космическими объектами.

Эти открытия обусловили революционный скачок в науке в целом, комплексное освоение новых форм движения материи, глубокое исследование атомно-молекулярных процессов во взаимосвязи с космосом. С названными достижениями связано развитие и других наук, в особенности технических: атомной энергии, электроники, информатики, электрохимической, лазерной технологии и т.п.

На базе успехов в фундаментальных областях науки происходит расцвет многих, весьма разнообразных прикладных исследований и инженерных разработок. Опережающее развитие естествознания, его фундаментальных направлений является необходимой предпосылкой успешного развертывания НТР.

Сращивание новых индустриальных технологий с микроэлектроникой и компьютерной техникой является одной из главных особенностей современного этапа НТР. Еще одно важное свойство современных технологий — малое количество отходов и безотходность, что важно как для роста эффективности производства, так и для сохранения окружающей среды.

Глубокие перемены в энергетической базе производства связаны с освоением атомной энергии. За четверть века своего существования атомная энергетика достигла такого уровня, что успешно конкурирует с классическими способами получения энергии.

Основным направлением НТР в области технологии является переход от механической обработки материалов к использованию форм движения материи на молекулярном, атомном, субатомном уровнях, благодаря чему изменилась сама структура вещества. Речь идет о таких технологиях, как химическая, лазерная, прямое преобразование тепловой энергии в электронную, биотехнологическая и генная инженерия.

В современных условиях тема НТР весьма многогранна. И это совершенно естественно, поскольку на протяжении

всей истории человечества перед ним никогда не открывались такие поистине фантастические возможности как для гигантского созидания, так и для столь же глобального разрушения. Атомная и термоядерная энергия, которые в обозримом будущем смогут обеспечить подлинное изобилие энергии, автоматизация и информатизация производства, коренным образом меняющиеся условия и характер труда людей, достижения современной химии, позволяющие создать неограниченное количество материалов с заранее заданными свойствами, процесс технологии, колоссальные возможности, открываемые кибернетикой, — характерные черты современной НТР. Выход человека в космос, широчайший комплекс новых средств охраны здоровья и продления жизни и быстрорастущие средства воздействия на процессы органической жизни (на микромолекулярном уровне) — таков далеко не полный перечень созидательных возможностей, открываемых научно-технической революцией.

Вместе с тем она таит в себе и опасность для человечества. Атомное и термоядерное оружие, накопленные запасы которого в состоянии уничтожить все человечество и все живое на Земле, средства биологической и бактериологической войны, глобальное засорение биосферы планеты, водного и воздушного ее бассейнов, опасности, которые таит в себе новое направление молекулярной биологии (так называемая генная инженерия), — таковы лишь некоторые подлинно апокалиптические характеристики разрушительных возможностей этой же революции.

Основой, исходной базой научно-технической революции является революция в естественных науках. Это положение подтверждает начавшаяся в первой половине XX в. и продолжающаяся ныне революция в естественных науках. Революция в естественных науках вызывает революционные по значению перемены в технике и производстве, которые, в свою очередь, стимулируют и ускоряют процессы революции в естественных науках.

Физика, биология, физиология, биохимия, биофизика, молекулярная биология, генетика, кибернетика и другие современные отрасли естественных наук «атакуют» и завоёвывают все новые и новые позиции в тайне познания бытия. Но уже сейчас очевидно, что как познавательные, так и практические возможности, которые откроются в связи с революцией в естественных науках, настолько грандиозны и широки по охвату, что они смогут стать отправной позицией для новой научно-технической революции.

## 20.4. Общие закономерности современной науки

Наука является основой всякого прогресса,  
облегчающего жизнь человечества  
и уменьшающего его страдания.

*М. Складовская-Кюри*

Наука является одной из определяющих особенностей современной культуры и, возможно, самым динамичным ее компонентом. Сегодня невозможно обсуждать социальные, культурные, антропологические проблемы, не принимая во внимание развитие научной мысли. Ни одна из крупнейших философских концепций XX в. не могла обойти феномен науки, не выразить своего отношения к науке в целом и к тем мировоззренческим проблемам, которые она ставит.

Основные наиболее общие закономерности современного естествознания позволяют сделать следующие выводы:

1. Наука является одним из этапов эволюции человеческой культуры. Пройдя несколько предварительных стадий от античности до эпохи Возрождения, наука в своей развитой форме вобрала в себя достижения других отраслей культуры, в том числе философии и религии, представляя собой в целом качественно новое явление.

2. Наука, с одной стороны, была средством нахождения истины о мире, а с другой — была нацелена на обеспечение господства человека над природой и ее преобразование. Что же главное в развитии науки — понимание человеком себя, мира, окружающего его, или покорение природы? Этот вопрос становится все более актуальным.

3. Наука, объединившись с техникой, привела в XX в. к научно-технической революции, которая является главным фактором развития человечества. Однако слишком тесная взаимозависимость науки и техники вредна, так как у каждой из этих отраслей культуры есть специфика, заключающаяся в том, что наука изучает мир, а техника его преобразует.

4. В настоящее время общепринято деление наук на естественные, гуманитарные, технические и математические. Основные из естественных наук: астрономия, физика, химия, геология, физическая география, биология, физиология человека, антропология. Между ними немало переходных наук: астрофизика, физическая хи-

мия, химическая физика, геофизика, геохимия, биофизика, биохимия, биогеохимия и т.п., а также переходные от них к гуманитарным и техническим наукам. Данная классификация не случайна. Предмет естественных наук составляют отдельные ступени развития природы или ее структурные уровни.

5. Хотя наука находится в процессе перманентного развития, но предугадать, в каком направлении она будет продвигаться и какими будут следующие открытия, невозможно. Физики рассчитывали в 1950-е гг. осуществить искусственную термоядерную реакцию и создать общую теорию поля. А прорыв был совершен в термодинамике открытых систем. Кибернетики думали, что будут создаваться все более сложные и громоздкие ЭВМ, а появился персональный компьютер. Наука есть создание качественно нового, а это невозможно предвидеть.

6. Область научного исследования постоянно расширяется, распространяясь на объекты, которые до этого находились вне сферы ее интересов (сложные, неустойчивые, открытые системы и т.п.). Тем не менее основные требования к научному исследованию — всеобщность опыта, универсальность объяснения — остаются в силе.

7. Существуют *три механизма эволюции*: диссипативные структуры в неживом мире, естественный отбор в живой природе, культура в человеческом обществе. Но наука не знает, как произойдет становление нового, поскольку это уникальный процесс. Наука достигает здесь пределов возможного, потому что имеет дело в основном с воспроизводимыми и повторяющимися процессами. Подходя к уникальному, она обращается к вероятностным методам. Наука вообще не может утверждать, что нечто обязательно случится, так как по современным научным представлениям эволюция мира не запрограммирована однозначно.

8. Наука ограничена возможностями человека и творчеством природы. Оставаясь принципиально ограниченной, она постоянно расширяет свои границы. Современная наука ограничена также экологически. Ее развитие может привести к уничтожению биосферы и ее самой. К эмпирической, теоретической и предметной ограниченности прибавилась ограниченность этического характера. Поэтому столь важными стали проблема: «этика и наука» и вопрос: «наука — добро или зло»?

## 20.5. Особенности в развитии современной науки

Наука не открывается каждому без усилий.

Подавляющее число людей не имеет  
о науке никакого понятия.

Она доступна лишь немногим.

*К. Ясперс*

Основной структурой познания в наиболее развитых отраслях естествознания является анализ предмета исследования, выражение абстрактных элементарных объектов и последующий логический синтез из них единого целого в виде теоретической модели.

Два обстоятельства затрудняют понимание обществом современного естествознания. Во-первых, применение сложнейшего математического аппарата, который надо предварительно изучить. Во-вторых, невозможность создать наглядную модель современных научных представлений: искривленное пространство; частицу, одновременно являющуюся частицей и волной, и т.д. Выход из ситуации прост — не надо и пытаться это сделать. Естествознание XX в. заставляет нас отказаться не только от непосредственной наглядности, но и от наглядности как таковой. Отказ от наглядности научных представлений является неизбежной платой за переход к исследованию более глубоких уровней реальности, не соответствующих эволюционно выработанным механизмам человеческого восприятия.

Фундаментальной особенностью структуры научной деятельности является деление науки на относительно обособленные друг от друга дисциплины. Это имеет свою положительную сторону, поскольку даст возможность детально изучить отдельные фрагменты реальности, но при этом упускаются из виду связи между ними, а в природе все между собой взаимосвязано и взаимообусловлено. Разобщенность наук особенно мешает сейчас, когда выявилась необходимость комплексных интегративных исследований окружающей среды. Природа едина. Единой должна быть и наука, которая изучает все явления природы.

Еще одна фундаментальная черта науки — стремление абстрагироваться от человека, стать максимально обезличенной. Эта в свое время положительная особенность науки делает ее ныне не адекватной реальности и ответственной

за экологические трудности, поскольку человек является самым мощным фактором изменения действительности.

В дополнение к отмеченным выше: преобладанию анализа в науке, ее обезличенности, абстрагирующего характера, чрезмерной специализации, дисгармоничности в развитии ее отдельных частей, выходы за рамки наглядности и в ту область, где все решается не объективными законами, а случайностью и свободной волей, можно добавить упрек в том, что наука и техника способствуют социальному угнетению, в связи с этим раздаются призывы об отделении науки от государства.

К парадоксам развития науки относится то, что наука сообщает объективную информацию о мире и в то же время уничтожает ее (при различных экспериментах) или что-либо уничтожается на основе научной информации (вида жизни, невозпроизводимые ресурсы).

Но главное — наука теряет надежду сделать людей счастливыми и предложить им истину.

Наука не только изучает развитие мира, но и сама является процессом, фактором и результатом эволюции, при этом она должна находиться в гармонии с эволюцией мира. Должен образоваться контур обратной связи между наукой и другими сторонами жизни, который регулировал бы развитие науки. Увеличение разнообразия науки должно сопровождаться интеграцией и ростом упорядоченности, а это и называется становлением науки на уровень целостной интегративно-разнообразной гармоничной системы.

Отметим следующие моменты в изменении образа науки наших дней:

1. Для научного познания в целом становятся все более характерными коллективные формы деятельности, осуществляемые, как выражаются философы, «научными сообществами». Наука все более становится не просто системой абстрактных знаний о мире, но и одним из проявлений человеческой деятельности, принявшей форму особого социального института. Изучение социальных аспектов естественных, общественных, технических наук в связи с проблемой научного творчества представляет собой интересную, пока еще во многом открытую проблему.

2. В современную науку все более проникают методы, основанные на новых технологиях, а с другой стороны — новые математические методы, которые серьезно меняют прежнюю методологию научного познания; следовательно,

требуются и философские коррективы по этому поводу. Принципиально новым методом исследования стал, например, вычислительный эксперимент, который получил сейчас самое широкое распространение. Какова его познавательная роль в науке? В чем состоят специфические признаки этого метода? Как он влияет на организацию науки? Все это представляет большой интерес.

В современном мировоззрении сформировались два направления по отношению к науке и научно-технической революции.

Первое направление, которое получило название *сциентизма* (лат. «сциенция» — наука). Именно в наше время, когда роль науки поистине огромна, появился *сциентизм*, связанный с представлением о науке, особенно о естествознании, как высшей, если не абсолютной ценности. Эта научная идеология декларирует, что лишь наука способна решить все проблемы, стоящие перед человечеством, включая и бессмертие. В рамках сциентизма наука рассматривается как единственная в будущем сфера духовной культуры, которая поглотит ее нерациональные области.

В противоположность этому направлению также громко заявил о себе во второй половине XX в. *антисциентизм*, который обрекает науку либо на вымирание, либо на вечное противопоставление природе. Антисциентизм исходит из положения о принципиальной ограниченности возможностей науки в решении коренных человеческих проблем, а в своих проявлениях оценивает науку как враждебную человеку силу, отказывая ей в положительном влиянии на культуру. Он утверждает, что хотя наука и повышает благосостояние населения, но она же увеличивает опасность гибели человечества и Земли от ядерного оружия и загрязнения природной среды.

Естествознание является продуктом цивилизации и условием ее развития. С помощью науки человек развивает материальное производство, совершенствует общественные отношения, образует и воспитывает новые поколения людей, лечит свое тело. Прогресс естествознания и техники значительно изменяет образ жизни и благосостояние человека, совершенствует условия быта людей.

Наука — это сложный социальный институт, и он теснейшим образом связан с развитием всего общества. Сложность, противоречивость современной ситуации в том, что наука, безусловно, причастна к порождению глобальных, и



прежде всего экологических, проблем цивилизации (не сама по себе, а как зависимая от других структур часть общества); и в то же время без науки, без дальнейшего ее развития решение этих проблем в принципе невозможно. И это значит, что роль науки в истории человечества постоянно возрастает. Поэтому всякое умаление роли науки, естествознания в настоящее время чрезвычайно опасно, оно обезоруживает человечество перед нарастанием глобальных проблем современности. А такое умаление, к сожалению, подчас имеет место, оно представлено определенными умонастроениями, тенденциями в системе духовной культуры.

## Выводы

1. *Наука* является одним из этапов эволюции человеческой культуры. Ныне научно-техническая революция является главным фактором развития человечества.

2. В настоящее время общепринято деление наук на естественные, гуманитарные, технические и математические. Предмет естественных наук составляют отдельные ступени развития природы или ее структурные уровни.

3. Существуют *три механизма эволюции*: диссипативные структуры в неживом мире, естественный отбор и борьба за существование в живой природе, развитие культуры в человеческом обществе. Но наука не знает, как произойдет становление нового, поскольку это уникальный, неизведанный процесс.

4. Классическое естествознание уделяло внимание понятиям, характеризующим замкнутые системы и линейные соотношения. Современная наука, признавая правомерность изученных ранее моделей, перешла к исследованию открытых систем, которые обмениваются с окружением энергией, веществом, информацией. Такие системы, более распространенные в природе, характеризуются разнообразием, неустойчивостью, нелинейными соотношениями.

5. Наука ограничена с четырех сторон. К эмпирической, теоретической и предметной ограниченности прибавилось ограничение экологического характера. Развитие науки может привести к уничтожению биосферы и ее самой.

6. Появились новые общенаучные концепции и подходы: системный, структурный, вероятностный, синергетический и т.п.

7. Научные достижения XX в. позволяют структурно разделить естественно-научную картину мира на микромир, макромир и мегамир.

8. Внутренняя целостность естествознания и его связь с гуманитарными, техническими и экономическими науками должна быть прочной и гибкой. Социальные системы сегодня возможно описать сложившимися в естествознании языком и понятиями. Ценность науки должна определяться гибкостью ее функционирования как единой системы. Единство естествознания и стремление к нему открывают новые возможности познания мира и самого человека.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

В ничто прошедшее не канет  
Грядущее досрочно манит...

*И. В. Гете*

### План семинара

1. Естествознание и мировоззрение.
2. Естествознание и научно-техническая революция.
3. Современная естественно-научная картина мира. Общие закономерности современного естествознания.
4. Наука как эволюционный процесс. Проблемы и парадоксы в развитии науки.

## Методические советы и упражнения

### Основные понятия

**Астрология** (*греч.* «astron» — звезда + логия) — древнее учение, утверждающее, что по взаимному расположению небесных светил можно предсказывать явления природы, эпидемии, судьбы государств и отдельных людей.

**Бионика** (*греч.* «bion» — элемент жизни) — научная область, объединяющая интересы биологии и техники; изучает особенности строения и жизнедеятельности организмов с целью создания технических систем, приборов и устройств, сходных по механизму действия с живыми организмами или их частями.

**Внеземные цивилизации** — это общества живых разумных существ, которые, возможно, обитают вне Земли, на других небесных телах.

**Закономерность** — внутренняя объективная устойчивая связь между явлениями и свойствами материального мира.

**Знание** — проверенный практикой результат познания действительности; верное отражение действительности в мышлении человека.

**Интеграция** (лат. «integratio» — восстановление) — объединение в целое каких-либо частей; в научном познании такое объединение осуществляется в различных формах, начиная от применения понятий и методов одной науки в другой и кончая современным системным методом.

**Мировоззрение** — система обобщенных взглядов на объективный мир и место человека в нем, на отношение людей к окружающей их действительности и самим себе, а также обусловленные этими взглядами убеждения, идеалы, принципы познания и деятельности. Мировоззрение образуется на основе естественно-научных, социально-исторических, технических и философских знаний. По своему содержанию оно может быть научным и ненаучным, материалистическим и идеалистическим, религиозным и атеистическим, революционным и реакционным. Мировоззрение имеет большой практический смысл, так как влияет на нормы поведения, жизненные устремления, интересы, труд и быт людей.

**Научная революция** — коренное изменение всех элементов научного знания (теорий, научных методов, фактов и норм), которое приводит к смене научной картины мира. Таких научных картин мира в истории науки можно выделить четыре (VI в. до н.э. — XV в.): аристотелевско-птолемеевскую, коперниковскую, ньютоновскую и эйнштейновскую.

**Научно-техническая революция (НТР)** — скачок в развитии производительных сил общества, переход их в качественно новое состояние на основе коренных сдвигов в системе научных знаний.

**Прогноз** (греч. «prognosis» — предвидение) — предсказание изменений в развитии и исходе каких-либо событий, явлений, основанное на определенных данных.

**Телеология** (греч. «telos» — цель + логия) — воззрение, считающее, что всякое развитие в мире является осуществлением заранее предопределенных целей.

**Эра** (лат. «aera» — исходное число) — система летоисчисления, при которой существует различный выбор начала отсчета годов.

### Тестовые задания

1. Как называют в науке фундаментальную теорию, которая применяется для объяснения широкого круга явлений, относящихся к соответствующей области исследования?

- а) алгоритм;
- б) интерпретация;

- в) кибернетика;
  - г) парадигма;
  - д) креационизм;
  - е) телеология.
2. Какая идеология декларирует, что лишь наука способна решить все проблемы, стоящие перед человечеством, включая бессмертие?
- а) холизм;
  - б) сциентизм;
  - в) синергетика;
  - г) гомеостаз;
  - д) телеология.
3. Какие из следующих наук являются естественными?
- а) гуманитарные;
  - б) математические;
  - в) прикладные;
  - г) фундаментальные;
  - д) никакие.
4. Какая из областей науки не входит в состав естествознания?
- а) физика;
  - б) физиология;
  - в) медицина;
  - г) математика;
  - д) химия.
5. Под концепцией понимается:
- а) объяснение какого-либо явления;
  - б) выяснение происходящих событий;
  - в) определенный научный подход;
  - г) система взглядов по тому или иному вопросу, явлению;
  - д) система мировоззрения.
6. Как соотносятся наука и культура?
- а) культура раздел науки;
  - б) наука раздел культуры;
  - в) культура и наука независимы;
  - г) культура и наука — разделы философии;
  - д) наука и культура понятия равнозначные.
7. Какое из следующих определений мировоззрения наиболее точное?
- а) мировоззрение — система знаний, накопленных человечеством;

- б) мировоззрение — форма духовного состояния нации;
- в) мировоззрение — форма общественного сознания;
- г) мировоззрение — совокупность взглядов, определяющих самое общее видение мира;
- д) мировоззрение — система познания мира.

### **Вопросы и задания для обсуждения**

1. Каковы общие закономерности современного естествознания?
2. В чем состоит научно-техническая революция?
3. Какова современная классификация естественных наук?
4. Какие три механизма эволюции окружающего мира вы знаете?
5. Каковы основные ограничения в развитии современной науки?
6. Какие открытия в естествознании XX в. привели к научным революциям?
7. Каковы основные закономерности развития мира?
8. Какие общенаучные концепции и подходы появились в XX в.?
9. Какую естественно-научную картину мира представляет современная наука?
10. Какие трудности и парадоксы наблюдаются в развитии современной науки?

### **Темы рефератов**

1. Наука как эволюционный механизм.
2. Будущее естествознания.
3. Сущность и основные особенности научно-технической революции.
4. Этические проблемы естествознания.
5. Концепции сциентизма и антисциентизма.
6. Экологическое значение естествознания.
7. Развитие информационных технологий.
8. Поколения электронно-вычислительных машин.
9. Этапы развития электронной техники.
10. Естественно-научные аспекты современных информационных технологий.
11. Переход от микроэлектронных к нанoeлектронным технологиям.
12. Современные технические средства накопления информации.

13. Технические возможности повышения плотности записи информации.
14. Технологические проблемы реализации голографической памяти.
15. Современные лазерные технологии.
16. Традиционные источники энергии.
17. Энергетика будущего.

### Литература

1. *Гусейханов, М.К.* Концепции современного естествознания / М.К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
2. *Кузнецов, В.И.* Естествознание / В.И. Кузнецов, Г.М. Идлис, В.Н. Гутина. — М., 1996. — Гл. 2. — С. 53—73.
3. *Философские вопросы естествознания.* — М., 1985. — С. 21—36; 319—331.
4. *Кун, Т.* Структура научных революций. — М., 1975.
5. *Философский энциклопедический словарь.* — М., 1989. — С. 396—397.
6. *Рузавин, Г.И.* Методы научного исследования. — М., 1974. — С. 7—32.

## ВЫДАЮЩИЕСЯ ЕСТЕСТВОИССЛЕДОВАТЕЛИ

Мудрость — это возвышение личности  
над собственной ограниченностью.

*Сократ*

**Аверроэс (Ибн Рушд) (1126—1198)**, арабский философ и врач, автор энциклопедического медицинского труда, известный комментатор Аристотеля.

**Авиценна (Ибн Сина) (980—1037)**, ученый, философ, врач, обладал энциклопедическими знаниями; его главный научно-философский труд «Книга исцеления» и медицинская энциклопедия «Канон врачебной науки» оказали большое влияние на развитие мировой культуры.

**Адамс Дж. (1819—1892)**, английский астроном, открывший в 1845 г. на основе математических расчетов планету Нептун.

**Алферов Жорес Иванович (1930 г.)**, советский физик, лауреат Нобелевской премии. Исследовал гетеропереходы, физику полупроводников и п/п приборов, квантовую электронику, оптоэлектронику.

**Аристотель (384—322 до н.э.)**, древнегреческий философ и ученый-энциклопедист, в своих работах охвативший почти все известные в то время области знания.

**Архимед (ок. 287—212 до н.э.)**, древнегреческий ученый, математик и механик, впервые применивший методы нахождения площадей поверхностей и объемов различных фигур и тел, представлявшие собой зачатки дифференциального и интегрального исчисления; пионер математической физики; один из создателей механики; изобретатель.

**Амбарцумян В. А. (1908—1996)**, советский физик и астрофизик, открыл новый вид звездных ассоциаций.

**Балтимор Д. (1938)**, американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1975).

**Бейеринк М. (1851—1931)**, голландский ботаник-микробиолог, исследовал развитие высших растений, жизнедея-

тельность микроорганизмов, роль бактерий в круговороте веществ в природе.

**Белоусов Б. П. (1893—1970)**, советский ученый, радиохимик, изучал процессы самоорганизации.

**Берг П. (1926)**, американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1980).

**Бернал Дж. (1685—1753)**, английский физик, социолог науки, общественный деятель, один из основателей науковедения.

**Берталанфи Людвиг фон (1901—1972)**, австрийский биолог-теоретик, до 1948 г. работал в Венском университете, с 1949 г. — в США и Канаде.

**Бертло П. (1827—1907)**, французский химик, историк химии, общественный деятель; синтезировал большое количество органических соединений, активно развивал химическую кинетику, является одним из основоположников термодинамики; страстно выступал против витализма.

**Бертолле Клод (1748—1822)**, французский химик, предсказал существование веществ переменного состава.

**Берцелиус Людвиг фон (1779—1848)**, шведский химик, разработал теорию радикалов.

**Бойль Роберт (1627—1691)**, английский химик и физик, ввел в химию экспериментальный метод, дал первое определение понятия химического элемента, активно содействовал превращению химии в самостоятельную науку.

**Больцман Людвиг (1846—1906)**, австрийский физик, один из основателей статистической физики и физической кинетики, широко известен своими работами по философии и методологии науки.

**Бор Нильс Хенрик Давид (1885—1962)**, датский ученый, создал первую квантовую теорию атома, один из создателей квантовой механики, внес значительный вклад в развитие теории атомного ядра и ядерных реакций, процессов взаимодействия элементарных частиц со средой, лауреат Нобелевской премии (1922).

**Борн Макс (1882—1970)**, немецкий физик, один из основателей квантовой механики, совместно с В. Гейзенбергом и П. Иорданом разработал матричную квантовую механику и дал ей статистическое обоснование; им написано большое количество значительных работ по философии и методологии физики, лауреат Нобелевской премии.

**Браге Тихо (1546—1601)**, датский астроном, прославившийся своими точными наблюдениями за небесными явле-



ниями, которые он производил систематически в течение 21 года; на основе этих наблюдений И. Кеплер вывел свои знаменитые законы.

**Бриллюэи Л. (1889—1969)**, французский физик; область исследований — классическая электродинамика, квантовая механика, физика твердого тела, радиофизика, статистическая физика, теория информации, в каждой из которых имеет значительные результаты.

**Бройль Луи де (1875—1960)**, известный французский физик, лауреат Нобелевской премии, разработал корпускулярно-волновую природу поведения микромира.

**Бруно Джордано (1546—1600)**, итальянский философ-естествоиспытатель и поэт; считал целью философии познание не сверхприродного бога, а природы, которая является «богом в вещах», активно отстаивал гелиоцентрическую теорию Коперника, развивал идеи о бесконечности природы и бесконечном множестве миров во Вселенной, был обвинен в ереси и свободомыслии и сожжен на костре.

**Брегг У. Л. (1890—1971)**, английский физик, лауреат Нобелевской премии (1915), получил эту премию вместе со своим отцом У. Г. Бреггом.

**Бунге М. (1919)**, аргентинский физик и философ, основная область его исследований — философские проблемы естествознания, проблемы методологические науки.

**Бутлеров А. М. (1828—1886)**, русский химик-органик, разработал теорию строения, структуры органических веществ и их свойств.

**Бэкон Р. (ок. 1214—1292)**, английский философ и естествоиспытатель, французский монах; отвергал схоластику, преклонение перед авторитетами; призывал к опытному изучению природы, широкому использованию математики; целью всех наук считал увеличение власти над природой.

**Бюффон Жорж Луи Леклерк (1707—1788)**, французский естествоиспытатель, разработал теорию происхождения Солнечной системы.

**Вернадский В. И. (1863—1945)**, русский естествоиспытатель, минеролог и кристаллограф, основоположник геохимии, биогеохимии, радиогеологии и учения о биосфере, историк науки, общественный деятель.

**Вигнер Э. (1902—1995)**, венгерско-американский физик-теоретик, одним из первых применил методы теории групп к описанию атомных и ядерных процессов, лауреат Нобелевской премии (1963).

**Вильсон Чарльз (1869—1959)**, английский физик, известен работами в области физики элементарных частиц и ядерной физики.

**Винер Норберт (1894—1964)**, американский математик, основоположник кибернетики; развивал идеи широкого применения вероятностного и информационного подходов для описания и понимания явлений природы, общества и человека.

**Галилео Галилей (1562—1642)**, итальянский физик, механик и астроном, музыкант, поэт, филолог и литературный критик, один из основателей современного экспериментально-теоретического естествознания, основатель классической механики; с работ Г. Галилея начинается история динамики; им вполне были осознаны закон инерции, закон сложения скоростей; он первый выдвинул идею об относительности движения (принцип относительности Галилея), изучил законы свободного падения тел и движения их по наклонной плоскости, законы движения тела, брошенного под углом к горизонту, и др.

**Галле И. (1817—1910)**, немецкий астроном-наблюдатель; по координатам, вычисленным У. Леверье, обнаружил планету Нептун (1846).

**Гарбей У. (1578—1657)**, английский врач, физиолог и эмбриолог, основатель учения о кровообращении и всей современной физиологии и эмбриологии.

**Гамов Георг (Джордж) (1904—1964)**, американский физик, создал теорию «Большого Взрыва» и расширяющейся Вселенной.

**Гейгер Х. (1887—1945)**, немецкий физик; совместно с английским физиком Э. Резерфордом изобрел прибор, позволяющий считать отдельные заряженные частицы, в дальнейшем этот прибор был усовершенствован Гейгером и немецким физиком В. Мюллером и получил название счетчик Х. Гейгера-Мюллера.

**Гейзенберг Вернер (1901—1976)**, немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики; совместно с Н. Бором разработал матричную механику (1925) — первый вариант квантовой механики; сформулировал соотношение неопределенностей (1927), выражающее связь между импульсом и координатой микрочастицы; автор работ по структуре атомного ядра, по релятивистской квантовой механике и единой теории поля; лауреат Нобелевской премии (1932).

**Гей-Люссак Жозеф Луи (1778—1850)**, французский физик и химик.

**Геккель Эрнст (1834—1919)**, немецкий биолог, активный пропагандист эволюционного учения; обосновал биогенетический закон о взаимосвязи онтогенеза и филогенеза.

**Гексли Т. (1825—1895)**, английский естествоиспытатель, ближайший соратник Ч. Дарвина и популяризатор его учения; в 1883—1885 гг. — президент Лондонского королевского общества; активный сторонник теории происхождения человека от обезьяны.

**Гельмгольц Г. (1821—1894)**, немецкий физик, математик, физиолог и психолог; впервые дал математическое обоснование закона сохранения энергии и показал универсальность этого закона; выдвинул идею об атомарном строении электричества.

**Гермес**, в греческой мифологии почитался как вестник богов Олимпа, покровитель предпринимательства и бизнеса.

**Герц Генрих (1857—1894)**, немецкий физик, один из основателей электродинамики; в 1886—1889 гг. экспериментально доказал существование электромагнитных волн и подтвердил выводы теории Максвелла о том, что скорость распространения электромагнитных волн в воздухе равна скорости света, установил тождественность электромагнитных и световых волн.

**Гинзбург Виталий Лазаревич (1916—2006)**, советский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии. Изучал классическую и квантовую теорию излучения, теорию элементарных частиц, сегнетоэлектронику, сверхпроводимость, плазму, астрофизику.

**Гук Роберт (1635—1703)**, английский естествоиспытатель; был секретарем Лондонского королевского общества; установил закон пропорциональности между силой, приложенной к упругому телу, и его деформацией (закон Гука); высказал идею о всемирном тяготении, предвосхитив закон всемирного тяготения Ньютона.

**Гюйгенс Христиан (1629—1695)**, нидерландский механик, физик и математик; создатель волновой теории света, изобрел первые маятниковые часы; считал, что во Вселенной существует множество обитаемых миров; первый председатель Французской академии наук.

**Дальтон Джон (1766—1844)**, английский физик и химик; автор основополагающих работ по химической атомистике; им открыты закономерности, которым подчиняются свой-

ства газовых смесей (законы Дальтона); он впервые описал дефект зрения — частичную цветовую слепоту. Этот дефект зрения получил название дальтонизма.

**Дарвин Чарльз Роберт (1809—1882)**, английский естествоиспытатель, основоположник эволюционного учения о происхождении видов животных и растений путем естественного отбора; дал причинное объяснение целесообразности в органической природе; обосновал происхождение человека и обезьян от общих предков; его идеи оказали огромное влияние на развитие многих наук, на мировоззрение XIX в. и стали фундаментом современных представлений о реальности.

**Декандоль А. (1806—1893)**, швейцарский ботаник; работал одним из первых естественную систематизацию растений; основоположник сравнительной морфологии растений.

**Декарт Рене (1596—1650)**, французский философ, математик, физик.

**Демокрит (ок. 460 до н.э.)**, древнегреческий философ, основатель атомизма.

**Джоуль Дж. (1818—1889)**, английский физик; внес значительный вклад в исследование электромагнетизма и тепловых явлений, в создание физики низких температур, в обоснование закона сохранения энергии.

**Дирак Поль (1902—1984)**, английский физик-теоретик, один из основателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1933); построил удовлетворяющую требованиям теории относительности квантово-механическую теорию электрона, на основе которой он предсказал существование позитрона.

**Допплер К. (1803—1853)**, австрийский физик и астроном, открыл явление изменения частоты при движении источника или приемника.

**Дрейк Фрэнк (род. 1903)**, американский астроном, предложил формулу для нахождения внеземных цивилизаций.

**Евклид (III в. до н.э.)**, древнегреческий математик, автор первого из дошедших до нас теоретических трактатов по математике; главная его работа «Начала», в которой содержится изложение планиметрии, стереометрии и ряд вопросов теории чисел, в ней подведен итог развитию греческой математики; изложение геометрии, осуществленное Евклидом, служило на протяжении тысячелетий образцом логической стройности и строгости научного знания.

**Жаботинский А. М. (1937—2008)**, советский ученый, биофизик, изучал процессы самоорганизации в химических процессах.

**Жаков Франсуа (род. 1920)**, французский микробиолог, генетик, лауреат Нобелевской премии.

**Жолио-Кюри Ирен (1897—1957)**, французский физик, обнаружила явление искусственной радиоактивности, лауреат Нобелевской премии.

**Жолио-Кюри Фредерик (1900—1958)**, французский физик, общественный деятель; вместе с женой И. Жолио-Кюри обнаружил явление искусственной радиоактивности, за что в 1935 г. им была присуждена Нобелевская премия.

**Жерар Шарль (1816—1856)**, французский химик, изучал универсальные газовые законы.

**Капица П. Л. (1894—1984)**, советский физик, лауреат Нобелевской премии (1978); предложил импульсный метод получения сверхсильных магнитных полей; открыл сверхтекучесть жидкого гелия; его работы дали начало новому направлению исследований в области осуществления управляемого термоядерного синтеза.

**Кант Иммануил (1724—1804)**, немецкий философ, естествоиспытатель, предложил теорию происхождения Солнечной системы.

**Кантор Георг (1845—1918)**, немецкий математик, создатель теории множеств.

**Карно Сади (1796—1832)**, французский ученый, исследовал работу тепловых циклических процессов.

**Кельвин, см. Томсон У.**

**Кеплер Иоганн (1571—1630)**, немецкий астроном, открывший законы движения планет (законы Кеплера); в своих работах обосновывал и развивал гелиоцентрическое учение Н. Коперника.

**Клаузиус Рудольф (1822—1888)**, немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты; совместно с У. Томсоном сформулировал второе начало термодинамики; ввел понятие энтропии, идеального газа, длины свободного пробега молекулы; развивал идею о «тепловой смерти» Вселенной.

**Коперник Н. (1473—1543)**, польский астроном, врач, государственный деятель; создатель гелиоцентрической системы мира; его работы оказали огромное влияние на формирование мировоззрения нового времени.

**Крик Фрэнсис Комптон (род. 1916)**, английский биофизик и генетик, лауреат Нобелевской премии, Расшифровал структуру молекулы ДНК, раскрыл код генов.

**Кулон Шарль (1736—1806)**, французский физик; наиболее известен исследованиями взаимодействия электрических зарядов и магнитных полюсов (закон Кулона); его именем названа единица количества электричества (кулон).

**Лавуазье А. (1743—1794)**, французский химик; его работы способствовали становлению химии как науки, основанной на точных измерениях; показал сложный состав атмосферного воздуха и впервые правильно истолковал явление горения как процесса соединения веществ с кислородом; совместно с французским военным инженером Ж. Манье показал, что вода — это соединение водорода и кислорода, и синтезировал воду из водорода и кислорода.

**Ландау Лев Давидович (1908—1968)**, советский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии. Изучал квантовую электродинамику, теорию ферромагнетизма, фазовых переходов, сверхтекучесть, сверхпроводимость.

**Ламарк Жан Батист (1744—1829)**, французский естествоиспытатель, создатель первого целостного учения об эволюции органического мира; один из главных предшественников Ч. Дарвина; основные идеи изложены в книге «Философия зоологии» (1809); считал, что эволюция органической природы осуществляется в результате закрепления через наследование признаков, приобретенных организмом в ходе его развития.

**Лаплас Пьер Симон (1749—1827)**, французский математик, астроном, физик; внес фундаментальный вклад в развитие теории вероятностей; большое значение имеют его работы по дифференциальным уравнениям, алгебре; заложил основы современной небесной механики, впервые последовательно построив ее на основе механики Ньютона и закона всемирного тяготения; автор космогонической гипотезы об образовании Солнечной системы из вращающейся и сжимающейся газовой туманности (1796).

**Лауэ М. фон (1879—1960)**, немецкий физик, доказал волновую природу рентгеновских лучей и построил теорию их дифракции; основоположник рентгеноструктурного анализа, лауреат Нобелевской премии (1914).

**Леврье У. (1811—1877)**, французский астроном, независимо от Дж. Адамса вычислил положение неизвестной ранее планеты, названной впоследствии Нептуном.

**Левинсон-Лессинг Ф. Ю. (1861—1939)**, отечественный геолог и петрограф; автор многочисленных трудов по теоретической петрографии, кристаллографии, минералогии, вулканологии, общей геологии, стратиграфии и палеонтологии, почвоведению и истории геологии.

**Левкипп (V в. до н.э.)**, древнегреческий философ-материалист.

**Ленц Эмилий (1804—1865)**, отечественный физик и электротехник; установил так называемое правило Ленца для определения направления индуцированных токов.

**Линней Карл (1707—1778)**, шведский естествоиспытатель, создатель системы классификации растительного и животного мира.

**Лобачевский Н. И. (1792—1856)**, русский математик, один из создателей неевклидовой геометрии; видный деятель университетского образования и народного просвещения; ректор Казанского университета (1827—1846).

**Ломоносов М. В. (1711—1765)**, первый русский ученый-естествоиспытатель мирового значения, один из основоположников физической химии, поэт, заложивший основы современного русского литературного языка, художник, историк, поборник отечественного просвещения и развития самостоятельной русской науки; по его проекту в 1755 г. был организован Московский университет.

**Лункевич В. В. (1866—1941)**, отечественный биолог — популяризатор и историк естествознания; автор широко известной трехтомной работы по истории биологии «От Гераклита до Дарвина».

**Лысенко Т. Д. (1898—1976)**, отечественный биолог и агроном; получил ряд значительных результатов в области агрохимии; активно выступал против генетики Менделя.

**Майер Юлиус Роберт (1817—1878)**, немецкий естествоиспытатель, изучал законы сохранения энергии в тепловых процессах.

**Майкельсон Альберт Абрахам (1852—1931)**, американский физик. В 1881 г. экспериментально доказал и совместно с Э. У. Морли подтвердил с большой точностью независимость скорости света от скорости движения земли; эти работы явились экспериментальным обоснованием специальной теории относительности, лауреат Нобелевский премии (1907).

**Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879)**, английский физик, создатель классической электродинамики; один

из основоположников статистической физики; его работы привели к выявлению нового вида физической реальности — поля.

**Мариотт Эдм (1620—1684)**, французский физик, изучал закономерности газовых процессов.

**Мах Э. (1838—1916)**, австрийский физик и философ; изучал аэродинамические процессы, сопровождающие сверхзвуковой полет (в этой области именем Э. Маха назван ряд величин и понятий — число Маха, конус Маха и др.); его работы по истолкованию основных принципов физики оказали влияние на создание теории относительности; в своих философских исследованиях был непримиримым противником материализма, активно развивал философию позитивизма.

**Менделеев Д. И. (1834—1907)**, русский химик, открывший периодический закон химических элементов (периодическая система Менделеева), разносторонний ученый, педагог, общественный деятель; автор фундаментальных работ по химии, химической технологии, физике, метрологии, воздухоплаванию, метеорологии, сельскому хозяйству, экономике, народному образованию; его именем назван один из химических элементов.

**Мендель Грегор Иоганн (1822—1884)**, австрийский биолог, основоположник генетики; монах, с 1868 г. настоятель августинского монастыря в Брюнне (Австро-Венгрия), четко сформулировал законы наследования, построил теоретическую модель процесса наследования, одним из первых стал эффективно использовать в биологии и в естествознании в целом вероятностно-статистические методы.

**Минковский Оскар (Герман) (1864—1909)**, немецкий математик и физик, уроженец Литвы.

**Морган Л. (1818—1881)**, американский этнограф и археолог, историк первобытного общества; обосновал положение о роде как основной ячейке первобытного общества; раскрыл механизмы эволюции семьи и брака от групповых форм к частным; внес фундаментальный вклад в развитие этнографии и истории.

**Моно Жан Люсьен (1910—1976)**, французский биохимик и микробиолог, лауреат Нобелевской премии.

**Мохоровичич Андрей (1857—1936)**, югославский геофизик, сейсмолог, в его честь названа граница между мантией и корой.

**Ноден Ш. (1815—1899)**, французский ботаник, обнаруживший основные закономерности наследственности и предвосхитивший идеи естественного и искусственного отбора.



**Ньютон Исаак (1643—1727)**, английский физик и математик, создавший теоретические основы механики и астрономии, открывший закон всемирного тяготения; важнейшим его трудом является книга «Математические начала натуральной философии» (1687), в которой впервые была представлена единая стройная система земной и небесной механики, ставшая основой всей классической физики и определившая стиль мышления в естествознании вплоть до XX в.

**Ом Г. (1787—1854)**, немецкий физик, основные труды относятся к изучению электричества, к кристаллооптике, акустике; установил основной закон электрической цепи (закон Ома) и дал его теоретическое обоснование.

**Опарин А. И. (1894—1980)**, советский биохимик, создал теорию естественного происхождения жизни.

**Оппенгеймер Роберт (1904—1967)**, американский физик; главная область исследований — физика элементарных частиц, строение двухатомных молекул, природа космических лучей; возглавлял работы по созданию атомной бомбы (1939—1945).

**Оствальд В. (1853—1932)**, немецкий физико-химик и философ; основные научные работы в области теории электролитической диссоциации; вместе с Я. Вант-Гоффом основал «Журнал физической химии» (1887), осуществил издание «Классики точных наук» (1889); развил концепцию «энергетизма», согласно которой единственным основанием всех процессов является энергия, лауреат Нобелевской премии (1909).

**Павлов И. П. (1849—1939)**, русский физиолог, внесший фундаментальный вклад в развитие современных представлений о высшей нервной деятельности и процессе пищеварения; его исследования оказали большое влияние на развитие биологии, медицины, психологии, педагогики, на общие представления о человеке, лауреат Нобелевской премии (1904).

**Пастер Луи (1822—1895)**, французский микробиолог и химик, основоположник современной микробиологии и иммунологии; первый директор научно-исследовательского микробиологического института (институт Пастера), созданного в 1858 г. на средства, собранные по международной подписке.

**Паули Вольфганг (1900—1958)**, швейцарский физик-теоретик, автор классических работ по квантовой механике;

в 1925 г. сформулировал важнейший квантово-механический принцип (принцип Паули), лауреат Нобелевской премии.

**Пифагор (ок. 570 — ок. 500 до н.э.)**, древнегреческий философ, математик, религиозный деятель; основатель пифагоризма — учения, согласно которому в основе всего сущего лежит число; ему приписывается введение в геометрию доказательства, первые попытки построения планиметрии, создание учения о подобии, доказательство теоремы, носящей его имя.

**Планк Макс (1858—1947)**, немецкий физик, наибольшее значение имели его работы по термодинамической теории излучения, на основе которых им была введена универсальная постоянная  $h$  (постоянная Планка), лауреат Нобелевской премии (1918).

**Пригожин И. Р. (1917—2003)**, бельгийский физико-химик, известен своими трудами в области неравновесной термодинамики; один из создателей синергетики; автор ряда работ, посвященных философскому осмыслению современной науки, в которых даются оригинальные трактовки возникновения и функционирования сложных систем, самоорганизации, времени, случайности, лауреат Нобелевской премии.

**Резерфорд Эрнест (1871—1937)**, английский физик, уроженец Новой Зеландии, лауреат Нобелевской премии, установил структуру атома.

**Риман Бернхард (1826—1886)**, немецкий математик, изучил теорию сферической геометрии.

**Северцев А. Н. (1866—1936)**, советский биолог, основоположник эволюционной морфологии животных.

**Сеченов И. М. (1879—1908)**, русский естествоиспытатель, основоположник отечественной физиологической школы и естественно-научного направления в психологии; разработал и экспериментально обосновал учение о физиологических механизмах сознания и воли, обосновал теорию познаваемости мира.

**Сократ (ок. 469 до н.э. — 399 до н.э.)**, древнегреческий философ; считал, что диалог является основным методом нахождения истины; резко выступал против догматизма; считал себя не учителем мудрости, а лишь человеком, способным пробуждать в других стремление к истине. Сократ не излагал письменно своих взглядов; он был мудрецом, образ жизни и поведение которого производили большое впечатление на окружающих.

**Тамм Игорь Евгеньевич (1895—1971)**, советский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии. Развил квантовую теорию, явление комбинационного рассеяния, углубил дираковскую теорию электрона, открыл «уровни Тамма», разработал количественную теорию излучения Вавилова — Черенкова.

**Тимирязев К. А. (1843—1920)**, русский естествоиспытатель-дарвинист, один из основоположников русской школы физиологии растений, популяризатор и историк науки.

**Томсон У., лорд Кельвин (1824—1907)**, английский физик, один из основателей термодинамики и кинетической теории газов, высказал гипотезу «тепловой смерти» Вселенной; в 1890—1895 гг. президент Лондонского королевского общества, за научные заслуги в 1892 г. получил титул лорда Кельвина.

**Туорт Ф. (1877—1950)**, английский микробиолог; автор важных работ по культивированию микроорганизмов; открыл вирус бактерий — бактериофаг (1915).

**Уотсон Джеймс Дьюи (род. 1928)**, американский биохимик, лауреат Нобелевской премии, установил структуру гена.

**Фарадей Майкл (1791—1876)**, английский физик, создатель электромагнитной картины мира.

**Ферми Энрико (1901—1954)**, итальянский физик, с 1938 г. в США, исследовал природу микромира, характер ядерного взаимодействия.

**Фейнман Ричард (1918—1988)**, американский физик, основные труды по квантовой электродинамике, квантовой механике, статистической физике; разработал математический аппарат (диаграммы Фейнмана), сыгравший важную роль в развитии квантовой теории поля, лауреат Нобелевской премии (1965).

**Физо Арман (1819—1896)**, французский физик, экспериментально определил скорость света.

**Франк Ф. (1884—1966)**, австро-американский физик и философ; представитель неопозитивизма; занимался философским анализом исходных понятий физики, логическим анализом структуры физического знания, критикой витализма в биологии.

**Фридман А. А. (1888—1925)**, советский математик и геофизик, разработал теорию космологии, предложил модели развития Вселенной.

**Фрейд З. (1856—1939)**, австрийский невропатолог, психиатр и психолог, основоположник психоанализа; изучал

физиологию и анатомию головного мозга, занимался проблемами неврозов; одним из первых начал изучать психологические аспекты развития сексуальности; выдвинул теорию, согласно которой в основе динамики человеческой психики лежит конфликт между сознанием и бессознательными влечениями; его учение о бессознательном раскрыло новые возможности для понимания природы человека и общественных процессов, оказало большое влияние на философию, социологию, этнографию, психологию и психиатрию.

**Хаббл Эдвин (1889—1953)**, американский астроном, определил закономерности расширения Вселенной.

**Хьюиш Энтони (род. 1924)**, английский астроном, открыл и обосновал наличие пульсар, лауреат Нобелевской премии.

**Хакен Герман (род. 1927)**, немецкий физик, изучал кооперативные процессы, происходящие в лазерах, предложил теорию синергетики, исследовал процессы самоорганизации.

**Цельсий Лидере (1701—1744)**, шведский астроном и физик, в его честь предложили температурную шкалу измерений.

**Чейн Э. (1906—1979)**, английский биохимик; основные труды по микробным, антибактериальным веществам, механизму действия инсулина, технологии микробиологических производств, лауреат Нобелевской премии (1945).

**Шлейден М. (1804—1881)**, немецкий ботаник; основные труды по анатомии и эмбриологии растений; обосновал онтогенетический подход к изучению морфологии растений; сыграл важную роль в создании клеточной теории.

**Шредингер Эдвин (1887—1961)**, австрийский физик, один из создателей квантовой механики; основные труды по математической физике, теории относительности, физике атома и биофизике; вывел основное уравнение нерелятивистской механики (уравнение Шредингера); автор ряда интересных работ по философским проблемам физики и биологии, лауреат Нобелевской премии (1933).

**Эйген Манфред (род. 1927)**, немецкий физико-химик, лауреат Нобелевской премии, изучал вопросы самоорганизации при химических превращениях.

**Эйнштейн Альберт (1879—1955)**, один из основоположников современной физики, создатель теории относительности, один из создателей квантовой теории и статистической физики, лауреат Нобелевской премии (1921), развил

новые представления о пространстве и времени, их взаимосвязи, зависимости пространственно-временных отношений объекта от скорости его движения, от сил тяготения; раскрыл органическое единство массы и энергии; его идеи радикально изменили картину мира, легли в основу современных представлений о динамичности непрерывно расширяющейся Вселенной; ему принадлежат замечательные работы по философии и методологии науки.

**Энгельгардт В. А. (1894—1984)**, отечественный биохимик; основные труды посвящены обмену органических фосфорных соединений, их роли в энергетике и физиологических функциях клетки, связи энергетических процессов и механических свойств мышечных белков; один из основателей молекулярной биологии в нашей стране.

**Эпикур (341—270 до н.э.)**, античный философ, основатель анатомической программы античности.

**Эмпедокл (ок. 490 — ок. 430 до н.э.)**, древнегреческий философ.

**Эшби Уильям Росс (1903—1972)**, английский биолог и кибернетик, пионер в исследовании сложных систем, ввел понятие самоорганизации, ему принадлежит изобретение гомеостата.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ОТКРЫТИЯ XX СТОЛЕТИЯ

Внимай не тому, кто сказал,  
а тому, что сказано.

*Апостол*

**1900 г.** — немецкий физик Макс Планк ввел понятие кванта энергии и квантовую постоянную.

**1903 г.** — Иван Петрович Павлов на основе экспериментальных физиологических исследований разработал понятие условного рефлекса. Павлов доказал взаимообусловленность и единство психических и физиологических процессов в организме.

**1905 г.** — Альберт Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности и на основе квантовой гипотезы Планка ввел понятие кванта света.

**1908 г.** — Герман Минковский дал математическую формулировку теории относительности, введя понятие четырехмерного пространства-времени («четырехмерного мира»).

**1909 г.** — открыта «поверхность Мохоровичича» — граница раздела между земной корой и мантией Земли.

**1911 г.** — создание Чарльзом Вильсоном «камеры Вильсона», позволившей наблюдать различные виды излучений; следы которых в газовой среде в комбинации с электрическими и магнитными полями становятся видимыми. При анализе этих треков удалось определить заряд и энергию составляющих их частиц;

— Эрнест Резерфорд пропустил  $\alpha$ -частицы через тонкую металлическую фольгу и наблюдал их рассеяние. Только предположив существование атомных ядер, занимающих в атоме всего лишь  $1/1000$  часть его диаметра, Резерфорд смог объяснить рассеяние  $\alpha$ -частиц в веществе. Открытие Резерфорда подтвердило гипотезу Дж. Томсона (1903) о существовании положительно заряженного ядра атома. Резерфорд создал планетарную модель атома, в дальнейшем количественно разработанную А. Бором.

**1912 г.** — Томас Морган предложил теорию локализации генов в хромосомах. Его генная теория основывалась

на ряде законов, пополняющих законы Менделя (гены в хромосомах сцеплены друг с другом, число возможных комбинаций между генами внутри хромосом зависит от их удаленности друг от друга, гены одной и той же хромосомы образуют связанную группу, а число этих групп не превышает числа хромосомных пар).

**1913 г.** — Нильс Бор, используя квантовую гипотезу Планка, разработал количественную модель атома водорода, создав, таким образом, первую квантовую теорию атома.

**1915 г.** — Нобелевская премия в области физики присуждена английским физикам отцу и сыну Брэггам за исследование структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей. Они экспериментально доказали периодичность атомной структуры кристаллов и тем самым заложили основы современной кристаллографии;

— немецкий геофизик Альфред Вегенер опубликовал книгу «Возникновение материков и океанов», в которой изложил свою тектоническую гипотезу дрейфа континентов и первоначального соединения континентов Евразии, Африки и Америки.

**1916 г.** — А. Эйнштейн опубликовал книгу «Основы общей теории относительности».

**1918 г.** — норвежский физик и геофизик Вильгельм Бьеркнес объяснил и разработал методику составления метеорологических карт. Основоположник современной метеорологии.

**1919 г.** — Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, облучая азот  $\alpha$ -частицами (ядрами гелия). Он получил изотоп кислорода.

**20-е гг.** — экспериментально подтверждено существование ионизированного слоя в атмосфере (ионосферы). Высота до 20 тыс. км. Кроме нейтральных частиц, ионосфера содержит заряженные электроны и ионы, возникающие под действием солнечного излучения.

**1922 г.** — советский математик Александр Александрович Фридман предложил модель нестационарной расширяющейся Вселенной, основанной на релятивистской космологии. Опирающаяся на эту модель теория «Большого Взрыва» объясняет происхождение Вселенной и формы ее материи внезапным скачком.

**1923 г.** — советский физиолог Алексей Алексеевич Ухтомский создал учение о доминанте, возникновение которой определяет характер рефлекторной реакции нервной системы.

**1924 г.** — Луи де Бройль в докторской диссертации «Исследование по теории квантов» выступил с идеей о волновых свойствах материи («волны де Бройля»). Он считал, что каждую движущую частицу можно описать сопряженной с ней волной. По мнению де Бройля, корпускулярно-волновой дуализм присущ всем без исключения видам материи — электронам, протонам и т.д. Так возникло представление о волнах материи;

— южноафриканский анатом Раймонд Дарт обнаружил в Южной Африке ископаемые остатки приматов, которые были отнесены к австралопитекам. Их возраст 1 млн лет (в настоящее время возраст этих приматов определяется в 5 млн лет).

**1925 г.** — в Дейтоне (США) за преподавание теории Дарвина был осужден учитель Дж. Скопс («обезьяний процесс»).

**1926 г.** — австрийский физик-теоретик Эрвин Шредингер разработал волновую механику, в основу которой положил частное дифференциальное уравнение — уравнение Шредингера. Он показал эквивалентность своей волновой механики в матричной форме, разработанной Вернером Гейзенбергом (в 1925 г.), квантовой теории;

— в Ленинграде издан труд Владимира Ивановича Вернадского «Биосфера», представляющий собой обобщение геологических, биологических, химических и географических данных о строении поверхности Земли.

**1927 г.** — Вернер Гейзенберг сформулировал «принцип неопределенности», согласно которому нельзя одновременно совершенно точно определить импульс и положение элементарной частицы (произведение неопределенностей координаты и импульса ограничено некоторой минимальной величиной, равной постоянной Планка).

**1928 г.** — Поль Дирак теоретически предположил существование античастиц. В 1932 г. первая античастица — позитрон — была открыта в космических лучах.

**1929 г.** — публичные выступления представителей Венского кружка — учеников австрийского философа и физика Морица Шлика — Рудольфа Картана и других, понимавших философию как логический анализ языка науки. Они выдвинули программу построения единой науки, основанной на физике (физикализм);

— американский астроном Эдвин Хаббл установил, что смещение линий в галактических спектрах в направлении к «красному» краю (так называемое красное смещение), яв-



ляющееся одним из проявлений «эффекта Доплера», возрастает пропорционально расстоянию, на которое удалены объекты («закон Хаббла»), и связано с разбеганием галактических образований;

— английский фармаколог и физиолог Генри Дейл установил, что возникновение электрического импульса на конце нерва или синапса, соединяющего два нейтрона, сопровождается выделением адреналина или ацетилхолина. Эти вещества стимулируют нервную клетку, передающую возбуждение дальше;

— в Китае Тейяр де Шарден обнаружил синантропа — представителя древнейших ископаемых людей, близких к открытому ранее на о. Ява питекантропу. Синантропы использовали огонь 300 тыс. лет назад.

**Конец 20-х гг.** — советский физик и физико-химик Николай Николаевич Семенов открыл новый вид химических реакций — разветвленные цепные реакции, в ходе которых образуются активные частицы — свободные радикалы, которые, взаимодействуя с исходным веществом, кроме продуктов реакции, вновь образуют радикалы.

**30-е гг.** — австрийский зоолог Конрад Лоренц заложил основы новой области биологии — этологии (изучение инстинктивного поведения животных).

**30-е — 40-е гг.** — формирование синтетической теории эволюции, сочетающей идеи дарвинизма с современной генетикой.

**1932 г.** — гипотеза В. Гейзенберга, Д. Д. Иваненко и И. Е. Тамма о строении атомного ядра из протонов и нейтронов. Число нуклонов равно массовому числу. Сумма масс нуклонов и электронов дает массу атомов;

— английский физик Дж. Чедвик открыл нейтрон;

— австрийский биолог-теоретик Людвиг Берталанфи разработал теорию биологических объектов как открытых систем, находящихся в состоянии динамического равновесия (так называемая общая теория систем);

— Чарльз Шеррингтон ввел термин «синапс» и показал значение торможения в рефлекторной деятельности спинного мозга. Школа Шеррингтона заложила основы современной нейрофизиологии.

**1933 г.** — немецкий физик Теодор Гейтинг открыл взаимную аннигиляцию частицы и античастицы.

**1934 г.** — французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли искусственную радиоактивность, об-

лучая алюминиевую фольгу  $\alpha$ -частицами. Энрико Ферми установил, что при бомбардировке урана нейтронами возникают новые радиоактивные элементы.

**1935 г.** — японский физик Хидеки Юкава теоретически обосновал наличие в ядрах нестабильных элементов тесно взаимодействующих частиц (мезонов) с очень коротким периодом существования;

— началось промышленное производство синтетической ткани — «целлюлозной шерсти»;

— немецкому биологу Хансу Шпеману присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины за открытие так называемых организационных эффектов (центров) «эмбриона». Установив взаимозависимость развития одной части зародыша от другой, Шпеман сформулировал теорию «организаторов», воздействующих на развитие частей эмбриона.

**1936 г.** — английский математик Алан Тьюринг и американский математик и логик Эмиль Пост независимо друг от друга разработали концепцию «абстрактной вычислительной машины». Тьюринг описал также генетический универсальный преобразователь дискретной информации, получившие название «машина Тьюринга»;

— в Англии сконструирована первая система радиолокационной аппаратуры (радаров).

**1939 г.** — советский математик и экономист Леонид Витальевич Канторович выпустил в Ленинграде книгу «Математические методы организации и планирования производства», заложившую основы новой дисциплины — линейного программирования;

— Ф. Жолио-Кюри и независимо от него Э. Ферми установили, что расщепление урана-235 сопровождается высвобождением новых (вторичных) нейтронов. Так была открыта цепная ядерная реакция. Чуть позже ими предложен проект первого ядерного реактора.

**1941 г.** — Норберт Винер опубликовал свой первый труд о сходстве между работой математической машины и нервной системой живого организма.

**1942 г.**, август — утвержден проект «Манхэттен», связанный с разработкой атомной бомбы (руководитель — Роберт Оппенгеймер);

— осуществлена первая управляемая цепная реакция в ядерном реакторе, созданном в Чикагском университете под руководством Э. Ферми.

**1943 г.** — Отто Юльевич Шмидт выдвинул гипотезу метеоритного происхождения Солнечной системы. В 1944 г. опубликовано его исследование «Метеоритная теория происхождения Земли и планет».

**1945 г.** 16 августа — США произведен первый экспериментальный взрыв атомной бомбы. 6 августа — атомная бомба сброшена на Хиросиму, погибло 75 тыс. человек.

**1946 г.** — Иван Иванович Шмальгаузен разработал теорию новой интегративной формы естественного отбора — стабилизирующего отбора.

**1947 г.** — Виктор Амбарцумян открыл новый тип звездных систем — звездные ассоциации (динамически неустойчивые группы молодых звезд) и доказал, что процесс звездообразования во Вселенной продолжается.

**1948 г.** — Норберт Винер выпустил книгу «Кибернетика, или Управление и связь у животных и машин». Американский математик и инженер Клод Шеннон выпустил книгу «Математическая теория передачи информации»;

— американские физики Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли создали транзистор, а венгерский физик Деннис Габер сформулировал принцип голографии;

— Нобелевская премия присуждена швейцарскому химику Паулю Мюллеру за синтез ДДТ.

**1951 г.** — осуществлен первый термоядерный синтез по проекту американского физика Эдварда Толлера.

Начало работ над осуществлением управляемой термоядерной реакции с использованием устройства камеры — ловушки для плазмы «Токамак» (руководитель И. Е. Тамм).

**1953 г.** — американский химик и биолог Стэнли Миллер показал возможность искусственного синтеза аминокислот из аммиака, метана, водяных паров в условиях, сходных с теми, которые могли быть на земной поверхности вскоре после образования Земли. Синтез мог начаться под воздействием электрических разрядов и ультрафиолетовых лучей;

— американский биохимик Джеймс Уотсон и английский физик Френсис Крик открыли структуру ДНК.

**1954 г.** — введена в действие первая атомная электростанция в Обнинске;

— американский палеонтолог Патрик Харлей обнаружил в кремнеземе вблизи озера Верхнее (Канада) зеленые водоросли, возраст которых, по его предположению, 2 млрд лет, и 8 аминокислот органического происхождения.

**1955 г.** — шведский физиолог Рагнар Гранит выпустил книгу «Рецепторы и сенсорное восприятие», в которой сообщил о своих экспериментах, доказавших, что импульс от отдельных клеток — рецепторов передается нервным волокнам в мозг электрохимическим путем.

**1956 г.** — американский астроном Вернер Баум, наблюдая скопления галактики на рекордном удалении в 550 мегапарсеков, подтвердил, что Вселенная расширяется, причем увеличение скорости расширения, согласно его данным, составляет  $55 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ .

**1957 г.** — в Дубне вступил в действие крупнейший в мире ускоритель заряженных частиц — синхрофазотрон. С космодрома Байконур поднялся первый искусственный спутник Земли и спущено на воду первое в мире гражданское атомное судно — ледокол «Ленин».

**1958 г.** — по инициативе американского ученого Лайнуса Полинга более 10 тыс. ученых мира подписали обращение с призывом о прекращении опытов с ядерным оружием;

— американские физики Чарльз Таунс и Артур Шавлов теоретически обосновали конструкцию и принцип работы лазера (сокращенно с англ.: усиление света при помощи вынужденного излучения) — прибора для получения чрезвычайно интенсивных и узконаправленных пучков монохроматического светового излучения.

**1960 г.** — неудачная попытка американского астронома Фрэнка Дрейка принять радиосигналы предполагаемых разумных цивилизаций от звезды «тау» экваториального созвездия Кита.

**1961 г.** — первый полет человека в космос, продолжавшийся 1 час 48 минут.

**1963 г.** — американский астроном Матрен Шмидт открыл квазары (источники радиоизлучения, близкие к звездному);

— английские геологи Ф. Вайн и Д. Метьюз опубликовали статью, заложившую основы тектоники литосферных плит.

**1964 г.** — английский антрополог и археолог Ричард Лики в ущелье Олдувай на севере Танзании обнаружил остатки стойбища и кости четырех обезьяноподобных людей, близких к австралопитеку и названных «человек умелый».

**1965 г.** — открыто космическое реликтовое радиоизлучение. Предполагается, что это излучение является следствием взрыва первоначальной очень компактной и раскаленной

Метагалактики и доказывает, таким образом, справедливость «горячей модели Вселенной».

**1966 г.** — Нобелевская премия присуждена французским биологам Франсуа Жакобу, Андрею Львову и Жаку Моно за открытие так называемых структурных генов, отвечающих за синтез ферментов.

**1967 г.** — американский физик Джеральд Фейнберг и независимо от него индийский физик Эннакал Сударшан выдвинули гипотезу о существовании тахионов — частиц со скоростью большей скорости света;

— Нобелевская премия присуждена немецкому физико-химику Манфреду Эйгену и английским химикам Джорджу Портеру и Рональду Норришу за исследование сверхбыстрых химических и биохимических реакций;

— южно-африканский хирург Кристиан Барнард в Кейптауне впервые осуществил операцию по пересадке сердца человеку;

— английский астроном Энтони Хьюиш и работавшая под его руководством студентка Дж. Белл открыли в остатках сверхновых звезд пульсары (в данном случае речь шла о быстро вращающихся звездах).

**1969 г.** — первый человек вступил на поверхность Луны.

**1974 г.** — на Первой международной конференции по этическим проблемам молекулярной биологии и генетической инженерии провозглашен временный мораторий на все опыты с рекомбинацией генетического материала.

**1975 г.** — Нобелевская премия присуждена за сфероидальную модель атомного ядра.

**1994 г.** — сообщение об открытии в США шестого, последнего типа кварка.

**1997 г.** — сообщение о выращивании овцы методом клонирования.

# СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

Богатство подобно морской воде:  
чем больше пьешь, тем больше жажды.

*А. Шопенгауэр*

**Основные единицы СИ.** К основным единицам СИ относятся: метр — единица длины; килограмм — единица массы; секунда — единица времени; ампер — единица силы тока; Кельвин — единица температуры; кандела — единица силы света; моль — количество вещества. Они имеют нижеприведенные эталоны:

**Метр** равен длине пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени  $1/299\,792\,458$  с.

**Килограмм** равен массе международного прототипа килограмма, принятого на I Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) в 1989 г. и подтвержденного ГКМВ в 1991 г.

**Секунда** равна  $9\,192\,631\,770$  периодам излучения, соответствующим его переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей.

**Ампер** равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

**Кельвин** равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

**Кандела** равна силе света в заданном направлении источника, испускающего излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

**Моль** равен количеству вещества, содержащему столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой  $0,012$  кг.

**Дополнительные единицы.** К дополнительным единицам относятся радиан истерадиан.

**Радиян** равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

**Стерadian** равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Из основных единиц выводятся производные единицы измерения различных величин, используя формулы законов естествознания. Например, Ньютон, Джоуль, Ом, Паскаль и т.д. Существуют также внесистемные единицы измерения, приведенные ниже.

### Связь внесистемных единиц с единицами СИ

#### Длина

- 1 ангстрем =  $10^{-10}$  м
- 1 ферми (Фм) =  $10^{-15}$  м
- 1 астрономическая единица длины (а.е.) =  $1,496 \cdot 10^{11}$  м
- 1 световой год (св. год) =  $9,4605 \cdot 10^{15}$  м
- 1 парсек (пк) =  $3,086 \cdot 10^{16}$  м
- 1 морская миля = 1852 м
- 1 дюйм = 0,0254 м
- 1 фут = 12 дюймов = 0,3048 м

#### Площадь

- 1 ар (а) =  $100 \text{ м}^2$
- 1 гектар (га) =  $100 \text{ а} = 10^4 \text{ м}^2$

#### Масса

- 1 грамм (г) =  $10^{-3}$  кг
- 1 центнер (ц) = 100 кг
- 1 тонна (т) = 1000 кг
- 1 карат (кар) =  $0,2 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-4}$  кг
- 1 атомная единица массы (а.е.м.) =  $1,661 \cdot 10^{-27}$  кг

#### Скорость

- 1 километр в час (км/ч) = 0,277 м/с
- 1 узел = 1 морская миля в час = 0,514 м/с

#### Сила

- 1 дина (дин) =  $10^{-5}$  Н

**Энергия**

1 эрг (эрг) =  $10^{-7}$  Дж

1 киловатт-час (кВт-ч) =  $3,6 \cdot 10^6$  Дж

1 электрон-вольт (эВ) =  $1,602 \cdot 10^{-19}$

1 калория международная (кал) = 4,1868 Дж

**Магнитная индукция**

1 гаусс (Гс) =  $10^{-4}$  Тл

**Магнитный поток**

1 максвелл (Мкс) =  $10^{-8}$  Вб

**Напряженность магнитного тока**

1 эрстед (Э) = 79,6 А/м

**Активность радиоактивного источника**

1 кюри (Ки) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк

**Экспозиционная доза излучения**

1 рентген (Р) =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг

**Поглощенная доза ионизирующего излучения**

1 рад (рад) = 0,01 Гр

**Эквивалентная доза излучения**

1 бэр (бэр) = 0,01 Зв

**Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов**

Элемент	Период полураспада	Элемент	Период полураспада
$^{45}_{20}\text{Ca}$	164 суток	$^{226}_{85}\text{Ra}$	1590 лет
$^{90}_{38}\text{Sr}$	28 лет	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ лет
$^{210}_{84}\text{Po}$	138 суток	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 суток	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{11}$ лет



**Приставки для образования кратных и дольных единиц**

Приставка	Обозначение	Кратность и дальность	Приставка	Обозначение	Кратность и дальность
Пета	П	$10^{15}$	Деци	д	$10^{-1}$
Тера	Т	$10^{12}$	Санتي	с	$10^{-2}$
Гига	Г	$10^9$	Милли	м	$10^{-3}$
Мега	М	$10^6$	Микро	мк	$10^{-6}$
Кило	к	$10^3$	Нано	н	$10^{-9}$
Гекто	г	$10^2$	Пико	п	$10^{-12}$
Дека	да	$10^1$	Фемто	ф	$10^{-15}$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Смотри в себя — пытайся уловить от мысли  
к действию связывающую нить.

*А.Л. Чижевский*

### ОСНОВНАЯ

1. *Горбачев, В. В.* Концепции современного естествознания. — М., 2008. — 704 с.
2. *Горелов, А. А.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 207 с.
3. *Гусейханов, М. К.* Концепции современного естествознания / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — М., 2009. — 540 с.
4. *Гусейханов, М. К.* Практикум по курсу «Концепции современного естествознания» / М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов. — Махачкала, 2000. — 256 с.
5. *Дубнищева, Т. Я.* Концепции современного естествознания. — Новосибирск, 1997. — 830 с.
6. *Карпенков, С. Х.* Концепции современного естествознания — М., 1997. — 340 с.
7. Концепции современного естествознания / под рук. С. А. Самыгина. — Ростов н/Д, 1997. — 430 с.
8. *Кожевников, Н. М.* Концепции современного естествознания. — СПб., 2009. — 384 с.
9. *Потеев, М. И.* Концепции современного естествознания. — СПб., 1999. — 352 с.
10. *Рузавин, Г. И.* Концепции современного естествознания. — М., 1997. — 287 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. *Аминьева, Т. П.* Фундаментальные взаимодействия и космические лучи / Т. П. Аминьева, Л. Н. Сарычева. — М., 2001.
2. *Аршинов, В. И.* Естественно-научное образование гуманитариев: на пути к единой культуре / В. И. Аршинов,

- В. Г. Буданов, А. Д. Суханов // Общественные науки и современность. — 1994. — № 5. — С. 113.
3. *Амбарцумян, В. А.* Загадки Вселенной. — М., 1987.
4. *Абдулкадыров, Ю. Н.* Концепции современного естествознания. — Махачкала, 1996.
5. *Бронштен, В. А.* Планеты и их наблюдение. — М., 1979.
6. *Бакулип, П. И.* Курс общей астрономии / П. И. Бакулип, Э. В. Кононович, В. И. Мороз. — М., 1977.
7. *Вернадский, В. И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. — М., 1995.
8. Вселенная, астрономия, философия. — М., 1988.
9. *Вайскопф, В.* Наука и удивительное (как человек понимает природу). — М., 1965.
10. *Винер, Н.* Кибернетика. — М., 1968.
11. *Вернадский, В. И.* Биосфера. — М., 1967.
12. *Гинзбург, В. Л.* О физике и астрофизике. — М.: Наука, 1980.
13. *Гейзенберг, В.* Физика и философия. Часть и целое. — М., 1989.
14. *Гусейханов, М. К.* Рациональное и религиозное в космологических концепциях / М. К. Гусейханов, У. А. Раджабов. — Махачкала, 1996.
15. *Гумилев, Л. Н.* Этногенез и биосфера Земли. Различные издания.
16. *Гусейнов, Р. М.* Концепции современного естествознания / Р. М. Гусейнов, И. Ш. Исмаилов. — Махачкала, 1998.
17. *Горстко, А. Б.* Познакомьтесь с математическим моделированием. — М., 1991.
18. *Дорфман, Я. Г.* Всемирная история физики с начала XIX века до середины XX века. — М., 1979.
19. *Данин, Д. С.* Вероятностный мир. — М., 1981.
20. *Дагаев, М. М.* Астрофизика / М. М. Дагаев, В. М. Чапругин. — М., 1988.
21. *Дагаев, М. М.* Астрономия / М. М. Дагаев [и др.]. — М., 1983.
22. *Ефремов, Ю. Н.* В глубине Вселенной. — М., 1977.
23. *Евсюков, В. В.* Мифы о мироздании. — М., 1986.
24. *Зельдович, Я. Б.* Драма идей в познании природы / Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов. — М., 1988.
25. *Иванов, Б. Н.* Законы физики. — М., 1986.

26. Капица, С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Миленецкий. — М., 2001.
27. Кемпфер, Ф. Путь в современную физику. — М., 1972.
28. Капица, П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. — М., 1974.
29. Капра, Ф. Дао физики. — СПб., 1994.
30. Кендрию, Дж. Нить жизни. — М., 1968.
31. Кун, Т. Структура научных революций. — М., 1975.
32. Краткий миг торжества. — М., 1989.
33. Концепции самоорганизации: становление нового образа научного мышления. — М., 1994.
34. Князева, Е. Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. — М., 1994.
35. Клейн, М. В поисках истины. — М., 1987.
36. Климишин, И. А. Астрономия наших дней. — М., 1986.
37. Климишин, И. А. Открытие Вселенной. — М., 1987.
38. Карапетьянц, М. Х. Строение вещества / М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. — М., 1970.
39. Казначеев, В. П. Очерки теории и практики экологии человека. — М., 1983.
40. Круть, И. В. Введение в общую теорию Земли. — М., 1978.
41. Кузнецов, Б. Г. Пути физической мысли. — М., 1968.
42. Колтун, М. Мир физики. — М., 1984.
43. Линднер, Г. Картины современной физики. — М., 1977.
44. Лоренц, К. Агрессия. — М., 1994.
45. Левитан, Е. П. Астрономия. — М., 1994.
46. Мэрион, Дж. Б. Физика и физический мир. — М. : Мир, 1975.
47. Мухин, Л. М. Мир астрономии. — М., 1987.
48. Медников, Б. М. Дарвинизм в XX веке. — М., 1975.
49. Мухин, К. Н. Занимательная ядерная физика. — М., 1969.
50. Мечников, Л. И. Цивилизация и великие исторические реки. — М., 1995.
51. Менделеев, Д. И. Основы химии. — Т. 1. — М., 1947.
52. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. — М., 1990.

53. *Небел, Б.* Наука об окружающей среде. Как устроен мир. — М., 1993.
54. *Назаретян, А. П.* Интеллект во Вселенной. — М., 1990.
55. *Николис, И. Д.* Познание сложного / И. Д. Николис, И. Пригожин. — М., 1990.
56. *Новиков, И. Д.* Эволюция Вселенной. — М., 1983.
57. *Пригожин, И.* Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Мир, 1986.
58. *Пригожин, И.* Время, хаос и квант / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М., 1994.
59. *Пригожин, И.* От существующего к возникающему. — М., 1986.
60. Проблемы поиска жизни во Вселенной. — М., 1986.
61. *Пуанкаре, А.* О науке. — М., 1983.
62. *Поршнев, Б. Ф.* О начале человеческой истории. — М., 1974.
63. *Поппер, К.* Логика и рост научного знания. — М., 1983.
64. *Раджабов, О. Р.* Вселенная: происхождение и эволюция мира / О. Р. Раджабов, М. К. Гусейханов. — Махачкала, 1997.
65. *Раджабов, О. Р.* Концепция современного естествознания / О. Р. Раджабов, М. К. Гусейханов. — Махачкала, 1997.
66. *Сарданишвили, Г. А.* Современные методы теории поля. — Т. 1—4. — М., 2001.
67. *Сафаралиев, Г. К.* Современная естественно-научная картина мира / Г. К. Сафаралиев, М. К. Гусейханов. — Махачкала, 2001.
68. *Селье, Г.* От мечты к открытию. — М., 1987.
69. *Сноу, И.* Две культуры. — М., 1973.
70. *Спасский, Б. И.* Физика для философов. — М., 1989.
71. *Степин, В. С.* Философская антропология и философия науки. — М., 1992.
72. *Савенков, В. Я.* Новые представления о возникновении жизни на Земле. — Киев, 1991.
73. *Сетров, М. И.* Организация биосистем. — М., 1971.
74. *Спиридонов, О. П.* Фундаментальные физические постоянные. — М., 1991.
75. *Тарасов, Л. В.* Современная физика в средней школе. — М., 1990.
76. *Тейяр де Шарлей.* Феномен человека. — М., 1973.

77. *Тинберген, Н.* Социальное поведение животных. — М., 1992.
78. *Турсунов, А.* Человек и мироздание. — М., 1986.
79. *Турсунов, А.* Беседы о Вселенной. — М., 1984.
80. *Уилл, Ф. О.* Семья Солнца. — М., 1984.
81. *Фаталиев, Х. М.* Диалектический материализм и вопросы естествознания. — М., 1958.
82. *Фолт, Я.* История естествознания в датах / Я. Фолт, Л. Нова. — М., 1987.
83. *Фейнберг, Е. А.* Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. — М., 1992.
84. *Философские проблемы астрономии XX века.* — М., 1976.
85. *Философские проблемы естествознания.* — М., 1995.
86. *Фрейд, З.* Психология бессознательного. — М., 1989.
87. *Чижевский, А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. — М., 1976.
88. *Шарден, П. Т.* Феномен человека. — М., 1987.
89. *Шкловский, И. С.* Вселенная, жизнь, разум. — М., 1977.
90. *Шкловский, И. С.* Звезды: их рождение, жизнь, смерть. — М., 1984.
91. *Шкловский, И. С.* Проблемы современной астрофизики. — М., 1982.
92. *Шредингер, Э.* Что такое жизнь? С точки зрения физики. — М., 1972.
93. *Эбелинг, В.* Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В. Эбелинг, А. Энтель, Г. Файствен. — М., 2001.
94. *Энгельс, Ф.* Полное собрание сочинений. — Т. 24. — М.
95. *Эрден-Груа, Т.* Основы строения материи. — М., 1976.
96. *Эшби, У. Р.* Конструкция мозга. — М., 1964.
97. *Эшби, У. Р.* Введение в кибернетику. — М., 1959.
98. *Эйнштейн, А.* Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. — М., 1965.
99. *Юнг, К.* Архидея и символ. — М., 1971.
100. *Яблоков, А. В.* Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М., 1988.

**Покупайте наши книги:**

**Оптом** в офисе книготорга «Юрайт»:  
140004, Московская обл., г. Люберцы, 1-й Панковский проезд, д. 1,  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru, www.urait.ru

**В розницу** в интернет-магазине: www.urait-book.ru,  
e-mail: order@urait-book.ru, тел.: (495) 742-72-12

**Для закупок у Единого поставщика** в соответствии  
с Федеральным законом от 21.07.2005 № 94-ФЗ обращаться  
по тел.: (495) 744-00-12, e-mail: sales@urait.ru, vuz@urait.ru

*Учебное издание*

**Гусейханов Магомедбаг Кагирович**

**КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Учебник и практикум

Редактор *В. В. Бочкарева*

Корректор *Л. Я. Долинина*

Художественное оформление *А. И. Гиренко*

Компьютерная верстка *И. Ю. Темнова, Е. Е. Савина*

Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.

Гарнитура «Petersburg». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 31,39. Тираж 1500 экз. Заказ №

**ООО «Издательство Юрайт»**

140004, Московская обл., г. Люберцы, 1-й Панковский проезд, д. 1.

Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: izdat@urait.ru, www.urait.ru