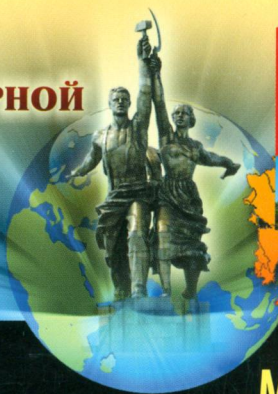


**ШЕДЕВРЫ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ**

ФИЗИКА

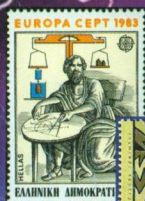
**НАУКУ —
ВСЕМ!**



МОСКВА

М. Е. Перельман

**или КАК
ФИЗИКИ
ВЫЯВЛЯЮТ
ЗАКОНЫ
ПРИРОДЫ**



от Аристотеля

до Николы Теслы



URSS

НАБЛЮДЕНИЯ И ОЗАРЕНИЯ

М. Е. Перельман

**НАБЛЮДЕНИЯ
И ОЗАРЕНИЯ,
ИЛИ
КАК ФИЗИКИ
ВЫЯВЛЯЮТ
ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ**

**От Аристотеля
до Николы Теслы**

Издание второе



URSS

МОСКВА

Перельман Марк Ефимович

Наблюдения и озарения, или Как физики выявляют законы природы:

От Аристотеля до Николы Теслы. Изд. 2-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 216 с. (НАУКУ — ВСЕМ! Шедевры научно-популярной литературы.)

Все мы знакомы с открытиями, ставшими заметными вехами на пути понимания человеком законов окружающего мира: начиная с догадки Архимеда о величине силы, действующей на погруженное в жидкость тело, и заканчивая новейшими теориями скрытых размерностей пространства-времени.

Но как были сделаны эти открытия? Почему именно в свое время? Почему именно теми, кого мы сейчас считаем первооткрывателями? И что делать тому, кто хочет не только понять, как устроено все вокруг, но и узнать, каким путем человечество пришло к современной картине мира? Книга, которую вы держите в руках, поможет прикоснуться к тайне гениальных прозрений.

Рассказы «Наблюдения и озарения, или Как физики выявляют законы природы» написаны человеком неравнодушным, любящим и знающим физику, искренне восхищающимся ее красотой. Поэтому книга не просто захватывает — она позволяет почувствовать себя посвященными в великую тайну. Вместе с автором вы будете восхищаться красотой мироздания и удивляться неожиданным озарениям, которые помогли эту красоту раскрыть.

Первая часть книги, «От Аристотеля до Николы Теслы», расскажет о пути развития науки, начиная с утверждения Аристотеля «Природа не терпит пустоты» и эпициклов Птолемея, и до гелиоцентрической системы Коперника и Галилея и великих уравнений Максвелла. Читатель проделает этот огромный путь рука об руку с гениями, жившими задолго до нас.

«От кванта до темной материи» — вторая часть книги. Она рассказывает о вещах, которые мы не можем увидеть, не можем понять с точки зрения обыденной, бытовой логики: о принципе относительности, замедлении времени, квантовании энергии, принципе неопределенности, черных дырах и темной материи. История загадочной, сложной и увлекательной современной физики раскроется перед читателем.

Итак, вперед — совершать открытия вместе с гениями!

Издательство «Книжный дом «ЛИБРОКОМ»». 117335, Москва, Нахимовский пр-т, 56.
Формат 60×90/16. Печ. л. 13,5. Зак. № ВР-70.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-397-03684-9

© Книжный дом «ЛИБРОКОМ»,
2011, 2012

13536 ID 168587



НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА	
	E-mail: URSS@URSS.ru
	Каталог изданий в Интернете: http://URSS.ru
	Тел./факс (многоканальный): + 7 (499) 724 25 45
	URSS

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

Содержание

Предисловие: как делаются открытия?	7
Раздел I	
От Аристотеля до Галилея:	
2000 лет в поисках научного знания	10
Глава 1. Наблюдения и их упорядочение	10
Глава 2. Древний мир	14
1. Аристарх Самосский	15
2. Эратосфен	15
3. Архимед	16
4. Пифагор	17
5. Звуковой резонанс?	18
6. Преломление света	19
7. Птолемей	20
<i>Отступление I. Величайшие изобретения</i>	<i>21</i>
Глава 3. Эпоха Возрождения	24
1. Великая ошибка	24
2. Леонардо да Винчи	24
3. Николай Коперник	26
4. Тарталья и Кардано	28
Глава 4. Начало научных исследований	30
1. Галилео Галилей	30
2. Иоганн Кеплер	32
3. Уильям Гильберт	35
4. Атмосферное давление	36
5. Отто фон Герике	37
6. Блез Паскаль	39
7. Роберт Бойль	39
8. Роберт Гук	40

9. Гримальди	41
10. Христиан Гюйгенс	42
Глава 5. Теплота и температура	45
Раздел II	
Неувядающая классика: от Ньютона до Максвелла	49
Глава 1. Парадигма Ньютона	49
1. Оптика Ньютона	49
2. Исаак Ньютон: единство физического мира	54
3. Даниил Бернулли: гидроаэродинамика	58
4. Эффекты вращения	63
Глава 2. Происхождение Солнечной системы	66
<i>Отступление II. Смена вех</i>	<i>70</i>
Глава 3. Электризация	73
1. Первые исследователи	73
2. Бенджамин Франклин	75
3. Огюст Кулон	78
4. Генри Кавендиш	79
Глава 4. Электрический ток	81
1. Луиджи Гальвани и Алессандро Вольты	81
2. Гемфри Дэви	83
3. Георг Ом	86
4. Эрстед и Ампер	87
5. Майкл Фарадей	91
<i>Отступление III. Минимальный словарь</i> <i>Бертрана Рассела</i>	<i>96</i>
Глава 5. Теплота и термодинамика	99
1. Паровые двигатели	99
2. Теплота как поток	102
3. Газовые законы	104
4. Атомистика	107
5. Импульс, энергия, момент	109
6. Готфрид Вильгельм Лейбниц: функция действия	110
7. Виды энергий	112
8. Закон сохранения энергии: Майер, Джоуль, Гельмгольц	114

Глава 6. Второй закон термодинамики	117
1. Вероятность, информация, энтропия	117
2. Рудольф Клаузиус	122
3. Джеймс Кларк Максвелл: статистическая физика	123
4. Вечные двигатели	127
5. Людвиг Больцман	129
6. Джозайя Уиллард Гиббс	132
7. Броуновское движение: Эйнштейн и Смолуховский	134
8. Неравновесные процессы: Онсагер	135
Глава 7. Волновая оптика	137
1. Корпускулы или волны?	137
2. Томас Юнг	139
3. Огюстен Френель	142
4. Скорость света и проблема эфира	145
Глава 8. Электродинамика Максвелла	148
1. Дальнодействие и близкодействие	148
2. Великие уравнения	150
3. Генрих Герц	154
4. Хендрик Антон Лорентц	157
 Раздел III	
Наблюдать, чтобы изобретать:	
от электронов к электротехнике	160
Глава 1. Спектры, электроны, атомы	160
1. Фраунгоферовы линии	160
2. Спектральный анализ	161
3. Катодные лучи	164
4. Рентген и его лучи	165
5. Дж. Дж. Томсон: открытие электрона	168
Глава 2. Электротехника и радиотехника	171
1. Источники электрического тока	171
2. Электрогенераторы и электромоторы	172
3. Химические источники тока	174
4. Телеграф	176
5. Телефон	179
6. Томас Эдисон	181

7. Никола Тесла	184
8. Когерер	186
9. Изобретение радио	187
10. Ионосфера	189
11. Диод и триод	191
Глава 3. Запись изображения, звука и информации	193
1. Фотография	193
2. Запись звука	195
3. Кинематограф	198
4. Голография	200
5. Магнитные свойства веществ	202
6. Магнитная память, феррогидродинамика	203
Приложение 1. Рейтинги замечательных экспериментов и великих физиков	206
Приложение 2. Некоторые обозначения	209
Заключение	211

Предисловие: как делаются открытия?

Никто, увы, не может объяснить, как делаются открытия или, несколько точнее, как из груды предположений, ясных и совсем неясных или даже ошибочных данных выбираются те, которые помогают выявить (это слово более точно, чем «открыть») закон природы. Наитие, озарение — это ведь только слова...

Не следует ли обратиться к авторам открытий? Они-то могут или должны что-то и как-то объяснить?

И вот что говорят самые великие, авторы многих, не одного и не двух эпохальных открытий.

Альберт Эйнштейн в автобиографии пишет: «Открытие не является делом логического мышления», а в другом месте замечает, что какой-то процесс, по-видимому, происходит в подсознании, без словесного оформления, и затем как-то выскакивает в сознание.

Великий математик, физик и философ Анри Пуанкаре описывает, как он приходил к своим открытиям: «Случаи внезапного озарения, мгновенного завершения длительной подсознательной работы мозга, конечно, поразительны. Роль этой подсознательной деятельности интеллекта в математическом открытии можно считать, по-видимому, бесспорной». Но затем он продолжает: «Внезапное вдохновение никогда не могло бы прийти без многих дней предшествующих целенаправленных усилий, казавшихся в то время совершенно бесплодными и направленными по неправильному пути».

В обыденном сознании мыслитель часто ассоциируется с одноименной скульптурой Родена. Но говорят, что у глубоко задумавшегося гениального Нильса Бора был в такие моменты вид клинического идиота: полностью расслабленная мускулатура лица, опущенная нижняя челюсть... Так что прототип Родена рассуждает — возможно, он перебирает варианты ответа, но отнюдь не открывает нечто новое.

Но если нечто истинно новое возникает в виде смутной идеи, некоей картинки в подсознании, то скорее всего оно пробьется в сознание в моменты расслабленности, в полудреме или даже во сне. И действительно, именно об этом говорят многие из тех, кто совершал открытия, изобретал. Значит, логика здесь ни при чем, и машины, построенные на основе логических программ, никогда не смогут соперничать с людьми.

Что же делать, если нельзя научить делать открытия?

Нельзя забывать слова великого Т. А. Эдисона: в любом изобретении 99 % тяжелой работы и 1 % вдохновения. Так что нужно работать, тогда может прийти, а может и не прийти вдохновение.

Но можно попытаться восстановить условия, в которых совершено открытие, и то, **как и почему** тот или иной ученый, изобретатель заинтересовался какой-то проблемой и как он подошел к ее решению. Такие примеры могут послужить, отчасти, путеводной звездой в будущем.

Вот такие примеры автор и попытался собрать в этой книге, отмечая при этом и явления, которые до сих пор не объяснены (может, они интересуют читателя?).

Книга эта не является ни учебником, ни последовательной историей развития физики. Скорее, это история открытий в физике, но в форме изложения для чтения, для всех тех — от школьников, студентов и их преподавателей до психологов и просто людей любознательных, — кто интересуется проблемой открытий. (В этом и отличие ее от многих популярных книг, которые обычно объясняют то, **что** открыто, не затрагивая психологические проблемы работы исследователей.) Поэтому в книге нет формул, а отдельные очерки по возможности сделаны независимыми — читать ее можно почти с любого места.

Преподавательский опыт автора показывает, что рассказ о том, как, каким человеком и почему было сделано то или иное открытие, какие трудности пришлось преодолеть, какие проблемы оно разрешило, придает некую эмоциональную окраску уроку или лекции — экзамены показывают несравнимо лучшее запоминание и понимание именно этого материала. В нашей книге как раз и собраны подобные рассказы.

Кроме того, автор убежден, что рассказ об эмоционально насыщенных эпизодах легче проникает в подсознание человека (нечто вроде резонанса?), а затем схожая идея может всплыть, уже вне воли индивидуума, во время упорядоченного изучения предмета или даже во время собственных исследований. Но ведь для этого в подсознании уже должны находиться некие примеры! Поэтому представляется, что знание некоторых деталей истории открытий не может быть бесполезным, во всяком случае для будущих ученых. А может, такие рассказы и обратят кое-кого из подростков к занятиям наукой?

В последние годы во многих школьных программах понизился статус естественных наук, в том числе физики, в пользу математики и компьютеров: для чего, мол, запоминать формулировки законов Ар-

химеда или Ома, если их можно в любой момент найти в Интернете. Хотелось бы напомнить организаторам просвещения, что, во-первых, ни одна поисковая система не выдаст вам сведений, если вы сами не знаете, что надо искать, а во-вторых, и это гораздо важнее, суть преподавания, скажем, физики состоит в том, чтобы привить некоторые навыки понимания явлений окружающего мира, показать возможности не формального (как в математике), а реального анализа всего нас окружающего.

Так что еще одна задача книги — показать, насколько физика интересна и увлекательна. Эта книга в некотором смысле продолжает предшествующую книгу автора: «А почему это так?» (Кн. 1: Физика вокруг нас в занимательных беседах, вопросах и ответах. М.: URSS, 2012; Кн. 2: Физика в гостях у других наук (в занимательных беседах, вопросах и ответах). М.: URSS, 2012). Если в ней рассматривались повседневные явления и окружающие нас предметы, показывалась роль и возможности поиска внутреннего смысла разнородных, казалось бы, проявлений законов физики, то здесь мы обращаемся к тому, как наблюдения — возможно разрозненные, а порой и случайные — вели к открытию самых общих законов природы.

Необходимые пояснения. 1. Автор писал о тех разделах физики, которые ему в той или иной степени близки и знакомы (поэтому в очень малой степени затронуты физика твердого тела, физика плазмы и т. д.). 2. Опущены вопросы, которые очень сложно изложить без привлечения математики. 3. Список литературы к проводимому изложению мог бы по объему сравняться с самой книгой, но поскольку наше изложение отнюдь не претендует на строгую научность, приведены лишь минимальные ссылки на литературу.

Об иллюстрациях. Великий Резерфорд любил повторять: «Все науки являются либо физикой, либо собиранием марок» («*All science is either physics or stamp collecting*»). А поскольку имеется множество почтовых марок самых разных стран с портретами ученых и даже деталями аппаратуры и формулами, мы поместили некоторые из них здесь, руководствуясь при выборе лишь критериями правдоподобия и качества изображения. Заметим, что в мире найдется более 100 видов марок, посвященных Эйнштейну, причем некоторые из них напечатаны в странах, где вряд ли найдутся знатоки его творчества.

От Аристотеля до Галилея: 2000 лет в поисках научного знания

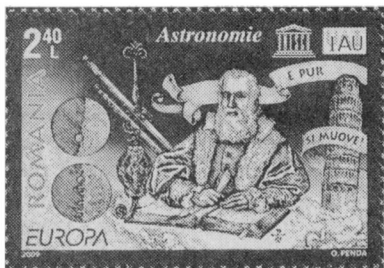
Глава 1

Наблюдения и их упорядочение

Я не раз говорил вам, что когда вы удалите невозможное, то все, что останется, должно быть правдой — как бы оно ни казалось невероятным.

А. Конан Дойл. Знак четырех

Важнейшее свойство человека — это стремление как-то упорядочить свои впечатления, свой опыт. В более примитивной форме такое стремление характерно для всех животных: так вырабатываются привычки или условные рефлексy, только так и идет у высших животных процесс обучения детенышей.



Проще всего упорядочить описание тех явлений, которые регулярно повторяются, например восход солнца и заход солнца, т. е. понятия дня и ночи. Затем — и это много сложнее — идет понимание смены сезонов: теплых и холодных периодов. Сезоны определяют характер перемещений животных, а от них зависело выживание людей в течение долгих тысячелетий. Особенно важным стало понимание последовательности сезонов при переходе от собирательства к регулярному скотоводству и земледелию.

Так возникало важнейшее для познания мира понятие регулярности и повторяемости явлений, их цикличности. Поэтому первым объектом человеческого любопытства стало выявление законов движения небесных тел — закладывались начала астрономии: самым простым ка-

залось ежедневное «движение» Солнца, гораздо более сложным — его годовое «движение», и оба они легко увязывались с циклами жизни.

Изменения фаз Луны прямо не связаны с природными явлениями, зато бросается в глаза периодичность этих изменений. Фазы Луны могли играть существенную роль, например, для возможностей ночной охоты, что привело к членению времени уже не только на дни и годы, но еще и на лунные месяцы.

Итак, регулярность движений Солнца и, частично, Луны определяла циклы жизни людей. Но ночной небосвод украшают также неподвижные звезды, вращающиеся вместе с небосводом, и планеты, движущиеся относительно звезд. Спрашивается: а для чего они нужны, какова их роль в мире?

В Древней Греции люди были практичны — они соотнесли с каждым явлением (каждым ручьем, каждой горой и даже деревом) своего бога или духа, объяснили рисунок созвездий теми или иными мифами и надолго потеряли интерес к дальнейшим обобщениям.

В Месопотамии, в Древнем Вавилоне, однако, жрецы этим не удовлетворились: у них возникла идея о том, что если Солнце управляет миром в целом, то более мелкие небесные тела (звезды, планеты) тоже были созданы не напрасно — они должны управлять делами более мелких объектов — отдельных людей, а так как важней-

Предположение, что движение небесных тел влияет на земную жизнь, получило «подтверждение» в 1066 г. Тогда произошло важное событие мировой истории: войска норманнского герцога Вильгельма Незаконнорожденного, прозванного затем Вильгельмом Завоевателем, переплыли пролив Ла-Манш, высадились в Англии и быстро ее покорили. Но так как перед этим событием на небе появилась комета (очередное возвращение кометы Галлея), то завоевание было увязано с ней, и астрология расцвела в Европе пышным цветом.

шей для каждого человека является дата его рождения, то его судьба определяется тем, как в тот момент были расположены звезды.

Так возникла, наряду с астрономией (от греческого «закон звезд»), и астрология (от греческого «наука о звездах»). Отметим, кстати, что подобные соображения, несколько менее общие, появлялись, по видимому независимо, в Древнем Египте и Древнем Китае, что говорит о схожем развитии человечества в разных странах.

Со временем астрономия объяснила движение планет, стало понятно, что звезды находятся от нас на расстоянии многих световых лет, что некоторые объекты на небе мы видим такими, какими они были задолго до возникновения человечества, а то даже и до возникновения самой Земли. Тем не менее газеты регулярно печатают астрологические прогнозы, а люди, знакомясь, иногда интересуются: «А кто Вы по гороскопу?» — довольно безобидное суеверие, и вряд ли стоит всерьез с ним воевать.

А вот для ученых, настоящих или будущих, из этой истории следуют серьезные выводы. С одной стороны, основная цель науки — это упорядочение наблюдаемых явлений, поиск регулярностей в этих явлениях и сведение их к наименьшему числу общих принципов (так мы, например, объясняем все электрические явления через свойства зарядов, но не ставим вопрос «а что такое электрический заряд?» — заряд существует, и вот таковы его свойства, для физики этого достаточно). И при этом мы должны внимательно всматриваться во все вновь замечаемые явления: их нужно либо увязать с другими, объяснить через уже выявленные общие законы (такие исследования называются «нормальной наукой»), либо — если это не получается — нужно менять что-то в основных принципах, т. е. произвести научную революцию, создать новую парадигму¹. Для такого резкого изменения научного мировоззрения необходимо обычно накопление какого-то количества противоречий, которые невозможно, при всех ухищрениях, втиснуть в старые рамки, — своего рода возникновение критической массы, после которого происходит взрыв.

Поэтому очень многое зависит от того, насколько внимательно человек всматривается во все его окружающее и насколько он может встроить вновь замеченное явление в уже существующую систему, объяснить его через известное.

Но, с другой стороны, человек, особенно если он ученый, должен сохранять известную долю скептицизма, не делать скоропалительных, хотя и очень приятных для самолюбия, выводов. Один из крупнейших физиков XX в. Макс Борн, о котором мы не раз будем говорить, писал: «Физики — не революционеры, скорее они консерваторы, и только вынуждающие обстоятельства побуждают их жертвовать ранее хорошо обоснованными представлениями». Так что здесь возникают довольно узкие рамки: не пропустить и не спешить!

Следующая важнейшая особенность научного исследования — это анализ (от греческого «разложение, расчленение»), т. е. разложение наблюдаемого явления или устройства на более простые части — примерно так, как ребенок разламывает игрушку, чтобы понять, как она устроена.

¹ Слово «парадигма», в буквальном переводе с греческого, — это «пример, образец». Но сейчас в науке под этим термином понимают такую модель, которая описывает множество явлений и которую мировое научное сообщество считает правильной. Смена парадигм и называется научной революцией, например: революции Коперника, Галилея, Фарадея и Максвелла, Эйнштейна в физике, Дарвина и генетики — в биологии, глобальной тектоники — в геологии. Наука не может существовать без парадигм — вспомним старый клич при смене монарха в Средние века: «Король умер. Да здравствует король!» — так смерть старой парадигмы должна совпадать с рождением новой. (См. книгу: Кун Т. Структура научных революций. М., 1977.)

Если анализ проведен правильно и роль каждой части, каждого подпроцесса понята, можно провести синтез (от греческого «сочетание, соединение») — попытаться понять взаимодействие всех частей и выявить то, что не объясняется свойствами этих частей по отдельности. Но при этом нельзя оперировать одной лишь логикой — ее возможности ограничены, и, как любил повторять известный теоретик и создатель большой школы физиков П. Эренфест, «любая логическая последовательность ведет к дьяволу», т. е. не позволяет создать нечто действительно новое.

Если оказывается, что несколько как будто разных явлений представляются набором схожих простых процессов, то появляется возможность описать теорию (от греческого «рассматриваю, исследую») этих процессов и явлений, которая позволяет уже предсказывать свойства явлений до их анализа. А когда набирается ряд таких теорий «первого порядка», то можно и нужно искать общие принципы, заменяющие несколько таких теорий одной — теорией следующего порядка. Теперь возможно уже провести логический анализ науки, показать, насколько необходимо из простейших, казалось бы, положений следуют основные физические теории².

Такой поиск является общей тенденцией развития науки — с одной стороны, объем научных знаний все время возрастает, и ставится вопрос: как же его целиком охватить, усвоить, но, с другой стороны, этот объем сокращается за счет того, что находятся общие принципы, которые объединяют отдельные «науки».

Но обо всем этом лучше говорить по ходу описания развития физики. Пока только скажем, что физика (а в переводе с греческого это слово означает «природа») лишь в последние примерно полвека — век становится воистину наукой о природе, т. е. начинает объяснять основные законы химии (химическая физика), биологии (биофизика), строения и свойств Земли и ее недр (геофизика), некоторые, пока только некоторые, особенности наших чувств (психофизика).

В XVIII в. физика состояла из практически независимых друг от друга механики, гидроаэродинамики, акустики, электричества, магнетизма, оптики, учения о теплоте, учения о строении вещества (атомизма). Но вслед за их независимым развитием наступила пора синтеза знаний: первые три объединились в механику Ньютона; затем Фарадей и Максвелл объединили электричество, магнетизм и оптику в электродинамику, а Эйнштейн присоединил сюда в значительной степени и механику; учения о теплоте и о строении вещества образовали вместе статистическую термодинамику и т. д.

Зато возникли космология, квантовая механика, затем квантовая электродинамика и теория поля, физика плазмы, ядерная физика, физика элементарных частиц. Сейчас как будто намечаются возможности свести их в одну общую теорию...

² Блестящий анализ такого подхода к развитию физики дан в известной популярной книге А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики» (есть несколько изданий на русском языке).

Древний мир³

Познание и заблуждение вытекают из одних и тех же психологических источников.

Э. Мах

Древние греки считали, что любую истину можно познать рассуждением и созерцанием, и поэтому специально ставить опыты не стоит — это равносильно недоверию к разуму: нужно лишь как следует порассуждать, и все прояснится. Более того, великий философ Платон упрекает пифагорейца Архита за то, что тот применяет математику для расчета каких-то устройств: думать, мол (как в старом анекдоте), головой нужно!

При этом, конечно, желание объяснить все явления в мире на основе как можно меньшего числа основных принципов приводит к совершенно несусветным, с современных позиций, положениям.

Вот как, например, объясняет Аристотель движение тел после прекращения действия силы: движущееся тело оставляет за собой пустоту, туда со всех сторон устремляется воздух, заполняющий весь мир, и продолжает толкать тело вперед. Ну а так как повсюду в мире есть движение тел, то Аристотель выдвигает принцип: природа не терпит пустоты (этот принцип просуществовал до XVII в., мы к нему вернемся в рассказе о Торричелли). Сейчас представляется удивительным, что Аристотель и его последователи в течение почти двух тысячелетий не задумывались над тем, что такой подход не может объяснить, почему камень после удара об стенку отлетает назад!

В некоторых вопросах Аристотель, правда, пошел дальше своих предшественников. Так, еще Платон писал, что видим мы потому, что наш глаз испускает особые зрительные лучи, которые как бы ощупывают предмет и возвращают в глаз его образ. Аристотель возражает: тогда мы могли бы видеть и в темноте!

³ Наиболее полное изложение истории физики вплоть до начала XIX в. дано в «Истории физики» Ф. Розенбергера (*Розенбергер Ф. История физики. В 4 кн. М.: Книжный дом «Либроком»/URSS, 2010*).

Иногда Аристотель приходит, только на основе наблюдений, к правильным заключениям. Так он доказывает (книга «О небе», 340 до н. э.), что Земля является шаром: 1) тень Земли, видимая во время лунных затмений, — круглая; 2) при движении к югу Полярная звезда, венчающая ось, вокруг которой вращается Земля, смещается вниз, к горизонту, а если идти на север, то Полярная звезда поднимается. Позднее к этим фактам добавили еще одно наблюдение: когда приближается корабль, то сначала становятся видны верхушки мачт, а потом весь корабль как бы постепенно поднимается из-за горизонта.

Смешение правильных и совершенно фантастических умозаключений — беда античных философов: накопив множество фактов, выдвинув множество новых идей, они не поняли еще необходимости расчетов и постановки контрольных опытов для проверки своих предположений.

1. Аристарх Самосский

Завоевания Александра Македонского (IV в. до н. э.) существенно раздвинули границы доступного грекам мира, что привело к более

широкому взгляду на все окружающее. По-видимому, первым, кто понял, что наряду с описаниями нужны и количественные сравнения, был астроном Аристарх с острова Самос (310–230 до н. э.).

Расчеты Аристарха были не очень точны, но дело не в том — он провозгласил *принцип измеримости*, который стал одним из основных в науке. Поэтому самый большой кратер на видимой стороне Луны по праву назван именем Аристарха. Кроме того, он установил длину солнечного года и первым провозгласил, что Земля вращается вокруг оси и обращается вокруг Солнца, но это уже на уровне скорее философии, чем науки. (Заметим, что Аристарха тогда считали богохульником, труды его были уничтожены, и мы знаем о нем только из пересказа Архимеда.)

Аристарх уже знал, что Луна светит отраженным светом и она ближе к Земле, чем Солнце (об этом говорили затмения Солнца Луной, когда она точно закрывала его диск). Но насколько? Он сообразил, что отношение их расстояний до Земли можно оценить таким образом: когда Луна кажется нам освещенной точно наполовину, т. е. в первой и последней четверти цикла, и находится точно в зените, то можно считать, что при этом образуется прямоугольный треугольник: луч, идущий от Луны к наблюдателю, перпендикулярен к линии Луна—Солнце. Следовательно в таком треугольнике расстояние Земля—Луна составляет меньший катет, а расстояние Земля—Солнце является гипотенузой и заведомо больше. Если определить теперь угол между направлениями на Солнце и на Луну, то из этого треугольника можно найти отношения расстояний.

2. Эратосфен

Первым, согласно одной из легенд, отверг античный подход «только рассуждения!» Эратосфен (276–195 до н. э.): он опустил в воду вверх дном большой сосуд, поднырнул и увидел, что внутри остается воздух.

Отсюда был сразу сделан вывод, что воздух занимает определенный объем и обладает упругостью.

Тот же, по-видимому, Эратосфен задумался над тем, почему в июне, в дни наиболее высокого солнца, в Сиене (Верхний Египет) солнечные

Через 150 лет после Эратосфена Посидоний придумывает другой способ измерения радиуса Земли: когда по наблюдениям на острове Родос звезда Канопус (Сириус) касается горизонта, в Александрии она видна на высоте в $\frac{1}{48}$ окружности над горизонтом. А поскольку расстояние между пунктами наблюдения приблизительно известно, то отсюда можно определить радиус Земли: полученные значения оказались близки к результатам Эратосфена.

лучи в полдень освещают дно глубокого колодца и вертикальный столб вообще не отбрасывает тень, а севернее, в Александрии, этого не происходит и тень вертикального столба в 12,5 раз меньше его высоты. Поэтому если Земля плоская, то

из подобия треугольников следует, что расстояние от Земли до Солнца так относится к высоте столба, как расстояние между Сиеной и Александрией — к длине тени. Но тогда расстояние до Солнца оказывается неправдоподобно малым — всего в 12,5 раз больше расстояния между городами, а длина тени дальше на севере может оказаться слишком уж большой.

И Эратосфена осеняет: а если Земля не плоская, если она — шар? Тогда из этих же измерений можно рассчитать диаметр Земли, и Эратосфен его определяет, с ошибкой всего лишь примерно в 15%. (До него Пифагор, Аристотель и еще несколько философов предполагали шарообразность Земли, но о необходимости доказательств даже не думали. Заметим, что прославился Эратосфен больше всего в математике, но его интересы простирались на все области знания, так что он даже получил прозвище Пентапл, т. е. многоборец.)

3. Архимед

Архимед (287—212 до н. э.)⁴ был современником Эратосфена. Известный рассказ гласит, что, опускаясь как-то в наполненную до краев ванну, он понял, в чем состоит мучавшая его задача, выскочил из воды и голый с криками «эврика» («нашел») побежал к царю.

Сейчас, при отсутствии воспоминаний самого Архимеда, можно предположить два объяснения его радости. В то время он был занят сложной задачей: его родственник Гиерон, царь Сиракуз, подозревал, что ювелир, изготовивший ему золотую корону, заменил часть золота серебром; как же проверить эти подозрения, не распиливая корону? Во-первых, Архимед мог обратить внимание на то, что в воде

⁴ Чтобы определить, сколько лет было Архимеду, когда его убил римский солдат при взятии Сиракуз, надо помнить, что года до нашей эры берутся со знаком минус: $-212 - (-287) = 75$.

ему легче поднимать какой-нибудь тяжелый предмет, т. е. предмет как бы теряет в воде часть своего веса (это наблюдение привело, после проверок, к его знаменитому закону: *на всякое тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной им жидкости или газа*). Следовательно, сравнивая выталкивающие силы, действующие на куски золота и серебра, одинаковые по весу с короной, и на саму корону, т. е. взвешивая их при погружении в воду, можно выяснить состав последней.

Во-вторых, Архимед, великий геометр, мог поступить проще: главное — определить объем короны (это ведь он придумал способы вычисления объемов шара, конуса и т. п.). Но форма короны слишком сложна для расчетов, зато, как он мог сообразить в ванне, объем вытесняемой воды точно равен объему самого погруженного тела. Поэтому надо просто измерить количество вылившейся воды и разделить вес короны на этот объем, т. е. определить ее плотность. А поскольку плотность золота (в современных единицах) составляет $19,3 \text{ г/см}^3$, а серебра — всего $10,5 \text{ г/см}^3$, почти вдвое меньше, то можно просто сосчитать, составив пропорцию (это Архимед умел), украл ли ювелир золото, и если украл, то сколько! (Такой метод усовершенствовали в XI–XII вв. арабские ученые, в том числе великий поэт Омар Хайям.)

Еще одна из легенд об Архимеде говорит, что во время осады Сиракуз римлянами он сжег их корабли с помощью зеркал. Недавно, в 1973 г., его потомки, современные греки во главе с инженером Ионанисом Саккасом, решили проверить легенду: было изготовлено по известным образцам 70 полированных медных щитов и 70 солдат одновременно, в летний полдень, направили солнечные «зайчики» на модели римских кораблей, стоящие в порту на расстоянии 55 метров, — и модели действительно загорелись, притом всего через 3 минуты!

Ну а сообразить, что жар «зайчиков» от нескольких зеркал складывается, — это не такая уж проблема для гения! Архимед был полностью реабилитирован!



4. Пифагор

А теперь вернемся несколько назад, к Пифагору (582–500 до н. э.). Число легенд, связанных с Пифагором, огромно: помимо знаменитой теоремы ему приписываются учение о том, что все в мире определяется

На самом деле высота звука зависит в основном не от веса молота, а от веса наковальни — она играет роль колокола, по которому бьют, поэтому, скорее всего, молотами ударяли по разным наковальням, как по разным колоколам. А Пифагор проверял, вероятно, эти соотношения на шнурах с подвешенными грузиками, или на струнах разной длины, или на одинаковых сосудах, наполненных водой на высоты, относящиеся как $1 : 3/4 : 2/3 : 1/3$. Но, так или иначе, именно Пифагору принадлежат наблюдение и описание того, что гармонические интервалы сводятся к числовым соотношениям между струнами. После этого открытия стало возможным при создании музыкальных инструментов рассчитывать длины струн, а не подбирать их для каждого инструмента по-отдельности. (Заметим, что так были открыты и признаны созвучиями только октава, квинта и терция, для которых числовые соотношения наиболее просты.)

числами и соотношениями между ними, какая-то философская система с обожествлением чисел и почему-то бобов, создание тайного союза пифагорейцев и завоевание власти в городе Кротоне; его считают одним из основоположников астрологии и т. д.

Но нас интересует только один из этих рассказов. В нем говорится, что Пифагор, проходя мимо кузницы, поразился приятности сочетания звуков при ударах разных молотов по наковальне. Войдя внутрь, он увидел, что самый маленький из них вдвое

меньше самого большого, вес второго составляет $2/3$ от веса этого большого, а вес еще одного — порядка веса главного молота. Отсюда сразу возникает мысль, что гармоничность звучания зависит от соотношения весов тел, которые колеблются!

Так что Пифагора можно считать основателем математической физики и отцом акустики — той части физики, которая описывает возникновение, распространение и воздействие звуков (пока только на органы чувств).



5. Звуковой резонанс?

Интересно заметить, что кое-что о звуках, резонансе и действии мощных потоков звука, возможно, было известно (если рассматривать рассказ в библейской «Книге Иисуса Навина» (6:19) с позиций физики) много раньше.

Когда в период завоевания будущего Израиля (XIV—XIII вв. до н. э.) еврейское войско подошло к городу Иерихону, окруженному мощными стенами, то никак не могло его захватить. Тогда Иисус Навин собрал всех трубачей и приказал им одновременно затрубить, а людям — закричать. И распалась стена (так в оригинале, в переводах: обрушилась стена или даже все стены) города, и он был завоеван. (Иерихон считается самым древним городом мира, основан в 10—8-м

тысячелетиях до н. э., в настоящее время находится в пределах Палестинской автономии.)

Сейчас очень трудно судить о правдоподобии этого рассказа. Вряд ли мощная, да еще неоднородная по высоте, стена города могла быть разрушена звуком. Но вот заметить, что некие, скажем бронзовые, ворота — а они вполне могли быть в той крепостной стене — как бы слегка дребезжат, колеблются при звуке военного рога, — это, вообще говоря, возможно. Ну а далее попробовать усилить такие колебания, да впридачу напугать защитников, — все это представляется не совсем неправдоподобным.

Так что, может, именно Иисусу Навину принадлежит честь первого применения физики в военном деле?

Звуковой резонанс всегда казался каким-то потусторонним явлением и приводил к возникновению многих мифов. Так, в Германии, в местности между Кобленцем и Майнцем, Рейн протекает между двух гряд утесов, и громкий звук превращается в многократное эхо. Именно оно вызвало, по мнению некоторых физиков, миф о прекрасной Лорелен, поэтически воспетой Генрихом Гейне. (Не исключено схожее происхождение и ряда других легенд.)

6. Преломление света

Законы отражения света изучались и описывались многими геометрами, в частности Евклидом вслед за его систематизацией геометрии (до сих пор, уже два тысячелетия, изложение геометрии почти буквально следует этому великому образцу). Правда, о природе света Евклид ничего не знал, и первый постулат его «Оптики» формулировался так: «Испускаемые глазами лучи распространяются прямолинейно». Это заблуждение, однако, не помешало выявлению закона отражения, который наиболее полно был сформулирован Героном и иногда называется его именем (в очень упрощенной формулировке: *угол падения равен углу отражения*).

А вот с преломлением света было посложнее. Примерно в 50 г. н. э. Клеомед впервые обратил внимание на такое явление: если положить на дно непрозрачного сосуда на столе кольцо и постепенно отходить от стола, то в какой-то момент кольцо целиком скроется за стенкой сосуда. Но если в этот момент в сосуд налить воду, то мы снова увидим кольцо — оно будто поднимается.

Почему? И Клеомед догадывается, что при входе в более плотную среду, из воздуха в воду, луч света «приближается к перпендикуляру к поверхности», преломляется. И наоборот — при выходе из воды в воздух он больше отклоняется от перпендикуляра к поверхности. Поэтому луч света, отраженного от кольца в воде, попадает к нам в глаз таким, как если бы кольцо находилось выше и дальше от закрывающего его края сосуда.

Но законы преломления математически оказались сложнее законов отражения: в первом, так называемом геометрическом, приближении они были сформулированы только в XVII в. Снеллиусом и Декартом, хотя и по сию пору преподносят немало сюрпризов.

7. Птолемей



Клавдий Птолемей (ок. 87–165) систематизировал все астрономические знания своего времени в книге «Великое математическое построение астрономии». Сочинение это называли «Мэгистэ» (по гречески — «величайшее»), что у арабов превратилось в «Альмагест». Птолемей придерживается, конечно, геоцентрической концепции: в центре мира находится Земля, а вокруг нее вращаются Луна, Солнце, планеты и весь небосвод. (Кстати, даже много позже одним из веских аргументов в пользу Земли как центра всего мира рассматривалось

то, что, несмотря на шарообразность Земли, все тела падают в направлении на ее центр: ведь Закон Всемирного тяготения еще не был известен.)

Однако простые круговые движения не соответствуют наблюдениям, по которым, например, Юпитер иногда движется как бы в обратном направлении. Поэтому — и в этом его величайшая заслуга — Пто-

Только в XIX в. знаменитый французский математик Ж. Б. Ж. Фурье (1768–1830) нашел способ, по которому, в частности, почти любую траекторию можно представить формально в виде суммы круговых движений, как в теории Птолемея. Такое представление, однако, имеет смысл только тогда, когда число этих составляющих наименьшее, а для геоцентрической системы оно несравнимо больше, чем для гелиоцентрической системы Коперника.

лемей расчленяет движения планет: по круговой орбите вокруг Земли движется центр некоторого кружка (эпицикла), на периферии которого находится Юпитер, а этот эпицикл сам вращается вокруг своего центра. Таким образом, Птолемей сводит сложное видимое движение планеты к комбинации двух

простых круговых движений — это первый случай представления сложного движения через более простые!

Но последующие, все уточняющиеся астрономические наблюдения не укладывались в простую схему Птолемея с одним эпициклом. Приходилось, например, считать, что по одному такому кружку, первому эпициклу, вращается центр второго эпицикла, иногда даже в обратную сторону, а уже на его периферии находится сама планета и т. д. Система эпициклов становилась слишком сложной.

Величайшие изобретения

Обычно принимается, что тремя величайшими открытиями или изобретениями в истории человечества были огонь, колесо и алфавит, к ним можно и даже нужно прибавить еще книгопечатание. Кто и как совершил эти прорывы, менявшие ход мировой истории?

С огнем все ясно: время от времени люди видели огонь, вспыхнувший от удара молнии, натывались на обгоревшие и более вкусные тела животных и т. д. Поэтому приручение огня могло одновременно происходить в разных местах — это не изобретение, а открытие, и у него много неизвестных нам авторов.

Теперь поговорим о колесе. Трение качения много меньше трения скольжения, поэтому возникает колоссальный выигрыш в затрате энергии на любое действие. Намек на колесо мог быть получен при случайном прокачивании груза на крутом бревне, потом на системе таких подкладываемых катков. Но переход отсюда к отрезанию от бревна крутяшек — предков колес, введение оси и ее закрепление на движимом предмете — все это требовало подлинной гениальности!

Изобретатель колеса неизвестен, время появления — тоже. Найден шумерский рисунок саней с колесами, которому как будто пять с половиной тысяч лет, но по более достоверным находкам колесо начали применять в каком-то подобии телег примерно четыре тысячи лет тому назад где-то в Малой Азии или на Ближнем Востоке (еще на пятьсот-тысячу лет моложе первая в мире повозка с колесами, хранящаяся в историческом музее в Тбилиси). И, видимо, это гениальное изобретение было сделано всего однажды: колес не было ни в одной из так называемых цивилизаций доколумбовской Америки.

А теперь представьте, каково было тащить каменные глыбы для постройки дворцов или крепостей волоком по бездорожью! Да и мельницу соорудить без колеса невозможно (приходится вручную растирать зерна между камнями), и воду для полива нужно поднимать вручную — только колесо позволило начать строить устройства подъема воды. Так что именно колесо дало возможность интенсифицировать труд людей и рабочих животных.

Алфавит тоже был придуман лишь однажды — по-видимому, где-то в Передней Азии. Это было гениальное изобретение и, казалось,

совсем не нужное: существовало ведь иероглифическое письмо, развитое из рисуночного, им можно было записать в то время все что угодно. Не так уж важно, что ему надо долго учиться, — государству и жрецам не требовалось много писцов. Количество иероглифов, правда, со временем растет (когда-то писали, что президент Академии наук Китая поэт Го Можо знал их 100 тысяч!), но зато люди, говорящие на разных языках, — китайцы с юга и севера, японцы, корейцы — могут читать одни и те же книги, по разному произнося слова, совсем как знаки дорожного движения, не требующие перевода.

А тут кто-то сумел анатомировать произносимые звуки (фонемы), разложить их на «атомы» (согласные-то отдельно не произносятся!) и показать, что этих «атомов» не так много — от двадцати до сорока. Можно поэтому ввести для каждого такого «атома» свой значок и установить правила их сочетания — теперь возможно записать и воспроизвести не смысл понятий, как в иероглифах (их можно трактовать по разному!), а звуки.

Когда таким образом стало возможным записывать тексты, то возникла проблема их размножения, тиражирования. В Древнем Риме и в средневековых монастырях усаживали десяток-другой писцов и диктовали текст, получали сколько-то копий, выпускали в продажу или раздавали «тираж» издания (копии эти не могли быть совсем одинаковыми — каждый писец допускал свои описки и ошибки).

По-видимому еще две тысячи лет тому назад, в Китае для очень важных и коротких сообщений придумали другой способ: нужный текст вырезали в зеркальном виде на деревянной доске, доску смазывали краской и с нее печатали на бумагу. Способ этот очень трудоемок и малоэффективен, так как доска быстро стирается (сейчас так на дереве или металле, проще на линолеуме, режут гравюры, при этом экземпляры оттисков нумеруют, так как качество каждого последующего заметно ухудшается). Естественной рационализацией этого способа был переход к вырезанию отдельных строчек и их последующему складыванию, а затем к вырезанию и складыванию уже отдельных букв.

И вот тут появляется гениальный изобретатель Иоганн Гутенберг (1401–1468) и задает простой вопрос: а зачем вырезать столько раз одну и ту же букву, которая многократно встречается на странице, — сделаем формочку для нее и отольем из легкоплавкого металла столько копий, сколько может понадобиться для страницы или даже для всей книги!

Так, проведя в 1455–1468 гг. множество экспериментов и преодолев множество препятствий, Гутенберг создал сплав системы свинец—олово—сурьма, из которого можно было отливать в медных формах

наборные шрифты для типографии. Создана технологическая основа средств массовой информации — и он выпускает первую полностью печатную книгу, знаменитую Майнцскую Библию, — началась новая эра в истории человечества, которую часто называют эрой Гутенберга.

Заканчивается ли эра Гутенберга, сменяет ли ее эра Интернета — никто сейчас сказать не может. Но для нашего изложения важно другое: изобретение Гутенберга технически вполне могло быть сделано на полтора тысячелетия раньше. Основная заслуга и урок Гутенберга в том, что он *непревзятно* подошел к достаточно обыденной в то время технологии изготовления гравюр, всмотрелся в нее и увидел возможности, мимо которых проходили тысячи людей. Так, как мы еще не раз увидим, совершаются многие открытия — кто-то обращает внимание на привычные, всем очевидные явления и устройства, но смотрит на них «другими глазами»!

Подчеркнем, что Гутенберг изобрел не только книгопечатание — это был первый пример производства совершенно одинаковых копий вещей по специально изготовленным матрицам, сейчас именно таким методом производят все промышленные изделия — от шурупов до автомобилей и компьютеров. Таким образом, именно Гутенберга нужно считать зачинателем современной промышленности.

Эпоха Возрождения

Мы остановились на конце античной эпохи. В последующие почти полторы тысячи лет развитие наук, в том числе физики, шло очень медленно: рушился старый мир, сжигались библиотеки, никто не поощрял ученых, а временами и попросту запрещались любые «умственные» занятия кроме богословия и славословия повелителям. И в этот период появлялись люди с пытливым умом и жаждой исследований, но сведений о них почти не осталось. Поэтому мы перескочим в конец XV в., века географических открытий.

1. Великая ошибка

Как уже говорилось, еще Эратосфен определил с небольшой погрешностью радиус Земли. Этот результат был то ли забыт, то ли сочтен ошибочным, но по расчетам географов XV в. размер Земли оказывался много меньше. Именно эта ошибка позволила итальянскому географу Тосканелли нарисовать такую карту, на которой не мог бы поместиться Тихий океан, и потому, пересекая Атлантику, можно было прямо попасть в Азию, несколько, правда, увеличенную в размерах, и в таинственную Японию с ее несметными сокровищами, которые описал, по слухам, еще в XIII в. Марко Поло.

Христофор Колумб, генуэзец на испанской службе, опытный мореплаватель, знал, что морские волны приносят иногда к берегам Испании и Португалии какие-то неизвестные растения, какие-то вещи явно заморского происхождения, ну а карта и рассуждения Тосканелли убедили его в том, что заманчивая Азия не столь уж далека. И он уговорил испанских королей организовать экспедицию.

Конечно, Америка все равно была бы открыта — не Колумбом, так кем-нибудь другим, но тут хочется подчеркнуть его веру в возможность открытия и его упорство.

2. Леонардо да Винчи

Леонардо да Винчи (1452–1519) нередко называют величайшим гением в истории человечества, и в этом нет особых преувеличений.

Художник, скульптор, архитектор, инженер и исследователь природы — он выбрал себе латинский девиз *Saper vedere* («знать, как смотреть») и внимательно всматривался во все вокруг, обо всем составлял собственное мнение, опередив на столетия остальное человечество. Так, рассматривая полет птиц, Леонардо открыл существование сопротивления воздуха и подъемной силы. В его рукописях имеются зарисовки и проекты вертолетов, подводных лодок, парашютов.

Леонардо поставил живопись на научную базу: при рисовании необходимо рассмотреть геометрию фигур и их расположение, учесть особенности перспективы (позже они составили начертательную геометрию) и роль оптических иллюзий. Революционным было и такое его решение: пейзаж в картине, даже при изображении исторических фигур, не должен быть просто украшением, его роль — создавать настроение, соответствовать общему замыслу.

Не мог он пройти и мимо такого явления, наверняка давно многими наблюдаемого: если в закрытых оконных ставнях имеется маленькая дырочка, то в солнечный день на противоположной стене возникает картинка — изображение того, что происходит снаружи. И Леонардо изобретает камеру-обскуру (в буквальном переводе с латыни «затемненное помещение»), прообраз фотоаппарата: ящик, в передней стенке которого имеется маленькое отверстие, а задняя стенка заменена матовым стеклом, так что, накрывшись с основной частью ящика непрозрачным покрывалом, можно видеть на стекле или бумаге освещенные предметы перед камерой и точно их копировать⁵.

Препарируя трупы, Леонардо глубоко изучил анатомию человека, от нее он перешел к физиологии и намного опередил свое время в понимании не только строения, но и функций различных органов.

И вот тут для нас очень важна и поучительна одна из заметок Леонардо. В то время крестьяне в Италии начали обрабатывать горные склоны под виноградники и иногда находили громадные окаменевшие кости каких-то животных — снова разгорелся давний спор о том,



⁵ Заметим, что в отличие от аппаратов со сложным объективом, дающих четкое изображение только для объектов «в фокусе», изображение в камере-обскуре резко по всей глубине картинки. Поэтому большие панорамные снимки и сейчас иногда делают аппаратом с пустым отверстием вместо оптического объектива, при этом, правда, требуются очень длительная выдержка и чувствительные фотоматериалы.

жили ли некогда на Земле великаны — люди и животные, которые, по-видимому, не поместились в ковчег Ноя и погибли во время потопа.

Леонардо, как видно из его записи, решил проблему просто: он знал, что если размер тела увеличивается в два раза, то его объем возрастает в восемь раз (два в кубе). Как же должны при это меняться размеры, точнее поперечные сечения, ног, чтобы выдержать такую тяжесть? На рисунках он показывает, что поперечное сечение будет возрастать быстрее (сейчас легко сосчитать, что пропорционально степени 1,5, т. е. если размер тела возрастет в два раза, то толщина ног должна увеличиться в 2,8 раз, почти втрое), и поэтому, например, у такого мега-слона передние и задние ноги скоро должны будут слиться воедино. Таким образом, заключает Леонардо, существуют естественные границы размеров организмов — великанов быть не может!

Фактически можно сказать, что Леонардо изобрел так называемый метод размерностей и подобия, появившийся лишь в конце XVIII в., а оформленный — уже в XX в.

3. Николай Коперник



С развитием наблюдательной астрономии стали выявляться во все большей степени недостатки геоцентрической модели Птолемея, в первоначальной форме которой каждой планете сопоставлялись круговая орбита и добавочный эпицикл. Но со временем, с уточнением наблюдательных данных, приходилось вводить для каждой планеты все новые и новые эпициклы, вращающиеся по разным орбитам; систему кругов приходилось все более усложнять — отказаться от круговых траекторий было невозможно: ведь по Аристотелю только круговое движение естественно, т. е. происходит без силовых воздействий.

Модель критиковали многие: так, известный астроном, король Кастилии и Леона Альфонс X Мудрый (1221–1284), даже воскликнул, что если бы бог посоветовался с ним при создании мира, то получил бы неплохой совет. Но еще долго, несмотря на накапливающие замечания о недостатках парадигмы Аристотеля, никто не решался на разработку новой концепции.

Однако к XV в., особенно после захвата Константинополя турками (1453), в Италии появляется много бежавших греческих ученых

и эрудитов, возникает интерес к изучению античных авторов и, соответственно, к возможности их критики — просыпается дух Ренессанса. Именно этот дух воплотил в себе в наибольшей мере Николай Коперник.

Коперник (1473–1543) получил широкое и глубокое по тем временам образование: он изучал медицину, математику и астрономию в Польше, Австрии и Италии, преподавал математику в Риме, а с 1505 г., вернувшись в Польшу, посвятил себя, казалось полностью, церковной и административной службе, но тут в нем пробудился интерес к астрономии.

Коперник понял, что помимо невероятной сложности накладывающихся друг на друга вращений (это понимали и многие до него) имеется и еще один, может быть *самый серьезный, недостаток системы Птолемея*: для того, чтобы описать суточное вращение дальних планет и самого небесного свода вокруг Земли, им приходится приписывать огромные, совершенно *невероятные скорости!* К тому же, что для истинно верующего особенно странно, об этом вращении нет ни полслова в Библии: мог ли Господь упустить такую несообразность?

Поэтому Коперник, широко образованный теолог, разрабатывает альтернативную модель: в центре Мира находится Солнце, а вокруг него вращаются по круговым, опять же, орбитам все планеты, кроме Луны — та вращается вокруг Земли, а Земля добавочно вращается вокруг собственной оси. При этом, правда, возникала большая трудность — надо было еще объяснить постоянный наклон земной оси относительно оси плоскости эклиптики (плоскость, в которой лежат орбиты всех планет), т. е. вводить какое-то добавочное движение. С этим затруднением Коперник не смог справиться, и он еще долго считался основным недостатком новой системы. Затем оказалось, что орбиты планет не являются точными кривыми...

Коперник работал над своей теорией 36 лет, а опубликована она была только по настоянию друзей; за день до смерти ему принесли пробный экземпляр отпечатанной книги. Он понимал, сколько возражений вызовет его теория и какую бурю она поднимет: «Хотя я знаю, что мысли философа не зависят от мнения толпы, что его цель — искать прежде всего истину, насколько Бог открыл ее человеческому разуму, но, тем не менее, при мысли, что моя теория может многим показаться нелепой, я долго колебался, не лучше ли отложить обнаружение моего труда и подобно Пифагору ограничиться одной устной передачей его сущности своим друзьям».

К концу XV – началу XVI века с восстановлением интереса к античности укрепляется и критический подход к филологическому анализу текстов. Не избегают такого анализа и переводы Библии с древнееврейского оригинала. А первые строки Книги Бытия отнюдь не однозначны: «дни творения» можно переводить и как «эры творения», а это допущение целиком меняет историю Гenezиса. Полностью такой анализ осуществил Бенедикт Спиноза (1632–1677) в «Богословско-политическом трактате» (издан посмертно), но уже ко времени Реформации подобные соображения становятся довольно частыми.

Коперник работал над своей теорией 36 лет, а опубликована она была только по настоянию друзей; за день до смерти ему принесли пробный экземпляр отпечатанной книги. Он понимал, сколько возражений вызовет его теория и какую бурю она поднимет: «Хотя я знаю, что мысли философа не зависят от мнения толпы, что его цель — искать прежде всего истину, насколько Бог открыл ее человеческому разуму, но, тем не менее, при мысли, что моя теория может многим показаться нелепой, я долго колебался, не лучше ли отложить обнаружение моего труда и подобно Пифагору ограничиться одной устной передачей его сущности своим друзьям».

Как отнеслись к этой теории люди того и более позднего времени? Великий реформатор Мартин Лютер заявил: «Этот дурак хочет перевернуть все астрономическое искусство». И даже много позже Г. Галилей говорил, что в начале работы «был убежден, что новая система — чистейшая глупость». Менее думающие люди ее попросту не заметили...

Мы должны подчеркнуть для дальнейшего *две* причины возникновения геоцентрической теории Коперника: простота описания и понимание невозможности огромных скоростей движения дальних планет. Подчеркнем, что *принцип наибольшей простоты*, хотя он обычно явно не формулируется, является одним из руководящих во всякой научной работе.

4. Тарталья и Кардано

Два знаменитых математика, Никколо Тарталья (1501–1557) и Джероламо Кардано (1501–1576), долго оспаривали честь открытия решения кубических уравнений, но нас интересуют другие их работы.

Тарталья первым заметил такую странность: снаряд, выпущенный из орудия горизонтально, в полете непрерывно снижается. А ведь согласно воззрениям Аристотеля он должен двигаться прямолинейно и строго горизонтально, потом переходить на движение по дуге окружности вниз и вертикально падать⁶. Выходит, что Аристотель не во всем прав, и механику надо строить по-иному.

И Тарталья вводит в физику *принцип непрерывного сложения движений*: летящая пуля участвует одновременно в двух движениях — она летит прямолинейно и одновременно непрерывно падает, опускается вниз.

В это же время Кардано выдвигает такой принцип, который сейчас кажется совершенно естественным: *любой механизм нужно мысленно или реально разлагать на простейшие части с тем, чтобы понять их устройство и функции*. И этот свой принцип он прилагает к конструированию разных механизмов и игрушек, в частности «экипажа для императора», в котором высокое лицо не будет испытывать толчков при движении кареты по тогдашним ухабистым дорогам.

Современный изобретатель взялся бы за дело так: чтобы уменьшить силу толчков вверх-вниз, тело в вертикальной плоскости нужно

⁶ Несколько лет тому назад в знаменитом популярном журнале *Scientific American* были подытожены результаты опроса студентов-гуманитариев университетов в США, где физика не является обязательным предметом в школе, — и более половины из них примерно так и нарисовали траекторию полета пули! Можно ли привести лучшие доводы в пользу обязательности физики в школе?

прикрепить к верху и к низу кареты на пружинах, затем на таких же парах пружин крепить тело к боковым стенкам, к передней и задней частям кареты, т. е. подвешивать «кресло императора» внутри кареты на трех парах пружин. И при этом, сам того не зная, он воспользовался бы важнейшим принципом Кардано: всякое колебание можно разложить на три составляющие (по трем осям пространства, но к тому времени понятие размерности пространства еще не было введено — фактически его открыл именно Кардано).

Сам Кардано не мог пользоваться такими пружинами — они еще не изготовлялись, поэтому он крепит тело внутри трех кругов, которые могут независимо вращаться в трех измерениях, и потому центральное тело не испытывает толчков. Сейчас такая система называется кардановым подвесом и на ней крепятся, в частности, компасы и другие измерительные устройства, применяется она и на судах для успокоения качки. (Заметим, что Кардано оставил любопытную автобиографию.)

Начало научных исследований

*Я слышу разума внушенья,
Я возрождаюсь и хочу
Припасть к источникам творенья,
Живительному их ключу.*

И. В. Гёте. Фауст

1. Галилео Галилей

К концу XVII в. наука в Европе окончательно порывает со схоластикой Аристотеля и для нее начинается новое время — время доверия к опыту.

Важнейшая роль в этом повороте принадлежит Галилео Галилею (1564—1642). Но из всех его многочисленных исследований мы остано-



новимся только на тех, где основную роль играли наблюдения самых обычных явлений, игнорируемых множеством людей до него.

Как-то, когда 19-летний Галилей сидел в соборе в Пизе во время длинной проповеди, служка, зажигавший свечи, неловко толкнул светильник, свисавший на длинном канате, и тот начал раскачиваться. Га-

лилей засек, скольким ударам его пульса соответствует одно полное колебание светильника, но через некоторое время, когда размах колебаний заметно уменьшился, он с удивлением отметил, что число ударов пульса осталось прежним. Отсюда следовала изохронность, т. е. независимость периода колебаний маятника от амплитуды!

Далее он замечает, что все светильники с одинаковой длиной подвеса, но даже разной массы, совершают колебания с одинаковой частотой, т. е. период их колебаний зависит только от длины подвеса и не зависит от массы и формы светильника. Таким образом у физиков появился прибор, позволявший легко измерять время (до того

пользовались песочными или водяными часами, у всех они были разными, что не позволяло сравнивать результаты разных наблюдений).

Поскольку Галилея назначили профессором математики в Пизе, он, согласно легенде, получил возможность проводить эксперименты на знаменитой падающей башне. Здесь он замечает, что, скажем, кирпич и связка таких же кирпичей падают вниз за одинаковое время. Вывод: скорость падения не зависит — или почти не зависит — от массы, некоторая разница возникает из-за сопротивления воздуха, но это было понято позже. (Скорее всего — это только легенда: Галилею проще было изучать законы падения пуская шары разной массы по наклонной плоскости — процесс растягивается во времени и уменьшается сопротивление воздуха. Бросать кирпичи с башни могло быть нужно только в качестве эффектной демонстрации, которые любили в дотелевизионное время.)

На основе своих опытов Галилей смог определить *понятие ускорения*, оставшееся неизменным до наших дней. Но опыты эти привели к тому, что его, как противника Аристотеля, изгнали из Пизы, тем

не менее он продолжил их в другом месте: башня для исследований уже не была нужна, достаточно наклонной плоскости. Кстати, время движения шара по всей плоскости, по ее половине и т. д. он измерял еще по объему воды, выливающейся из узкой щели в сосуде.

Галилей на этом, конечно, не останавливается: нужно изучить движение тела, брошенного горизонтально. Тут ему удается обобщить наблюдения Тартальи, вывести правило сложения скоростей и показать, что траектория такого тела является полупараболой.

Из опытов Галилея интересно описать еще один, в котором впервые за почти две тысячи лет была проверена и доказана теория плавания тел Архимеда (сомнение в ней вызывалось тем, что льдины плавают по поверхности воды, а в то время, следуя Аристотелю, принимали, что любое вещество должно при затвердевании уплотняться). Опыт был таков: шарик из воска, как легко проверить, в чистой воде тонет, но, добавляя в воду соль, можно добиться того, что шарик всплывет, а прибавив воду, можно заставить его снова опуститься. Таким образом показано, что условия плавания (сплошных) тел определяются соотношением их плотностей с плотностью жидкости.

Уже в своих рассуждениях о движении тела, брошенного горизонтально, Галилей использует соображения подобия и размерностей: масса шара растет как куб его радиуса, а сопротивление воздуха — как его поперечное сечение, т. е. как квадрат, поэтому с уменьшением размеров возрастает роль сопротивления воздуха. Позже он рассматривает те вопросы, которые сейчас называются соплатом, теорией поведения конструкций под напряжением. При этом он, в частности, повторяет тот вывод, о котором думал Леонардо да Винчи: показывает, почему сухопутные животные не могут достичь размера китов.

Немного ранее, и видимо одновременно, несколько оптиков (греческое «оптикос» — зрительный) начали сооружать зрительные трубки с двумя линзами, которые в основном использовались как игрушки: люди поднимались на колокольню и рассматривали окрестности (негодование у многих вызывалось тем, что так можно было заглядывать в чужие окна), правительства пытались засекретить эти приборы, чтобы использовать для военных целей. Галилей первым догадался посмотреть в такую трубку на небо, и открытия посыпались лавиной: горы на Луне, спутники Юпитера, позже — кольца Сатурна, так что астрономия была в корне преобразована. По некоторым сведениям, он же пытался построить первый микроскоп, о других его изобретениях скажем ниже. Галилею приходилось, конечно, самому строить свои приборы.

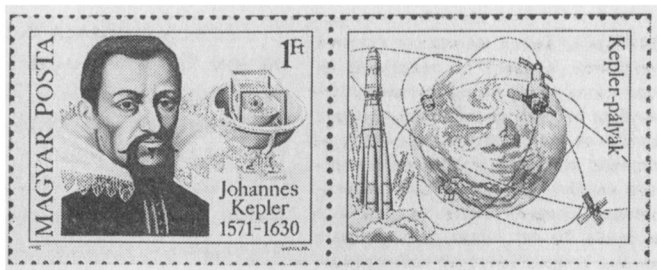
Описать или даже перечислить все достижения Галилея в физике и астрономии невозможно. Но главное в другом: очевидно ведь, что пылинки падают медленнее камня, а Галилей показывает, что *нельзя слепо доверять кажущейся очевидности*. Вот в этом принципе, в том, что именно Галилей первым показал и доказал необходимость опытной проверки всех построений в физике и, одновременно, их детального математического описания, — его непреходящая заслуга, и поэтому именно его можно считать зачинателем современной опытной науки.

В 1633 г. Галилей, как известно, был осужден церковью и объявлен «узником святой инквизиции» за утверждение о том, что гелиоцентрическая модель Коперника не противоречит Священному Писанию (заметим, что до Галилея все научные сочинения писались на мало доступной латыни, а он перешел на итальянский язык). Только через 350 лет, в 1984 г., Ватикан по инициативе папы Иоанна-Павла II, пересмотрев «дело» Галилея, признал, что эта модель «не противоречит» Библии и ученый был «реабилитирован»!

2. Иоганн Кеплер

Теперь нужно перейти к самому, возможно, великому ученому той эпохи — Иоганну Кеплеру (1571–1630). Для того чтобы понять его роль в развитии науки⁷, нужно напомнить общепринятое тогда мнение, что природа и все в ней происходящее отражают божественную

⁷ В массовом сознании образ Кеплера затенен драматической историей Галилея. Поэтому важны посвященные Кеплеру заметки Эйнштейна и великолепное историко-психологически обоснованное исследование Паули (см. сборник: Паули В. Физические очерки. М.: Наука, 1975. С 137–175), написанное, правда, под влиянием знаменитого психолога К. Юнга.



волю, и поэтому вопрос о причинах явлений просто неуместен и недостойн истинно верующего. Кеплер был первым, кто задал такой вопрос о движении планет, и он должен был искать тот путь, на котором можно было на него ответить: искать связь на пути религиозных символов или найти какую-то новую дорогу. (В первом издании своей книги «Тайны мироздания» он пишет о душах планет и Солнца, во втором издании заменяет слово «душа» словом «сила».)

Кеплер был ассистентом (фактически и наследником) замечательного астронома-наблюдателя Тихо Браге, проводившего точнейшие измерения положения Солнца и планет (напомним, что телескопов еще не было). В частности, Браге точно установил дни равноденствия, зимнего и летнего солнцестояния. Вот эти результаты, вместе со своими собственными, Кеплер сумел обдумать и обработать.

К XVI веку еще не существовало даже языка науки, не была выработана логика доказательств — кому-то нужно было начать подъем целины, и Кеплер впервые ставит во главу угла численные соотношения, математику. Поэтому и расположение планет Солнечной системы он пытается построить как систему вложенных друг в друга правильных многогранников, так называемых совершенных тел Платона. Но когда идеальная система приходит в противоречие с наблюдениями, он отдает приоритет наблюдениям.

Как известно, 21 марта и 21 сентября продолжительности дня и ночи точно равны — это дни весеннего и осеннего равноденствий, они как бы делят год на две части. А вот если сосчитать количество дней от 21 сентября до 21 марта и потом наоборот, то окажется, что эти промежутки не равны: от осеннего равноденствия до весеннего проходит 181 день, а от осеннего до весеннего — 184 дня, на три дня больше!

Практически у всех есть в руках календари, и каждый мог бы провести эти подсчеты и задуматься над ними. Но потребовался гений Иоганна Кеплера, чтобы обратить серьезное внимание на такой пустяк и сделать из него весьма далеко идущий вывод, именуемый сейчас Первым законом Кеплера: все планеты обращаются вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Тихо Браге (1546–1601) был в молодости гулякой и известным дуэлянтом, в одном из поединков он потерял нос и всю жизнь ходил с серебряным протезом. В 1674 г. он был потрясен видом вспыхнувшей сверхновой звезды и со всей страстью своей натуры предался астрономии: пользуясь поддержкой короля Дании, а затем короля Чехии, он строит великолепные обсерватории, создает самые совершенные инструменты и более 20 лет ведет скрупулезные и весьма трудоемкие астрономические наблюдения.

А основывался Кеплер вот на чем. Если бы планеты вращались, как считали и Птолемей, и Коперник, по окружностям, то каждую половину окружности они проходили бы за одинаковое время. Но поскольку, как мы видим, это не так, значит они двигаются не по окружностям,

а по каким-то близким к ним траекториям. Самая же близкая к окружности плавная кривая — это эллипс, к тому же хорошо изученный. *«Следы геометрии запечатлены в мире так, словно геометрия была прообразом мира»*, — так говорил сам Кеплер.

Но это пока только гипотеза, необходимы труднейшие, особенно для того времени, многолетние наблюдения, свои и покойного Тихо Браге, (только к концу работы Кеплер изобретает слабенькую зрительную трубу!) и расчеты — на бумаге, в столбик!

А теперь насчет тех самых трех дней — это уже следствие Второго закона Кеплера, согласно которому вблизи Солнца, в перигелии, планеты движутся быстрее, чем на дальней части эллипса, в афелии.

Кеплер — гениальный ученый: он понимает, что любые теории нужно проверять на разных объектах. Поэтому он предпринимает, уже со своим примитивным телескопом, невероятные по сложности и точности измерения траекторий спутников Юпитера, незадолго до того открытых Галилеем⁸, и доказывает, что их движения подчиняются тем же законам, что и движения планет, — теория Кеплера может считаться проверенной! (О сложности и неожиданности выводов Кеплера говорит уже то, что его современник Галилей с ним не согласился и продолжал считать орбиты планет круговыми!)

И что является самым главным в творчестве Кеплера: он был первым, кто пытался найти универсальные законы, основанные на земной физике, но управляющие и небесными телами, — до него вообще не возникало идеи о единстве взаимоотношений (пока еще нет сил, понятия которых ввел Ньютон) в природе: принималось, что одни законы действуют на Земле и совсем иные — в небесах. Очень показательно, что книга Кеплера «Новая астрономия» имеет подзаголовок «Новая физика» — так утверждается их единство.

⁸ Именно открытие спутников Юпитера показало, что теория Птолемея, гораздо более развитая к тому времени по сравнению с теорией Коперника, может быть неправильной — есть планеты, которые вращаются не вокруг Земли. Этим опровергается главный тезис старой теории: Земля — центр Мира!

Нельзя не сказать несколько слов о Кеплере как о человеке. Его мать, абсолютно неграмотную женщину, обвиняют в колдовстве и привлекают к суду инквизиции, что почти наверняка означает сожжение на костре. Кеплер, еще никому не известный, пешком, через половину Германии, добирается до места суда и — в то время это звучит как чудо — своим страстным и логичным выступлением добивается оправдания матери.

Оценивая заслуги Кеплера, А. Эйнштейн писал: «Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не

Конструируя свой телескоп, Кеплер определяет понятие фокуса линзы и выводит ее формулу, фактически создает геометрическую теорию построения изображений в системе линз, открывает явление полного внутреннего отражения, формулирует основной закон фотометрии (интенсивность освещения падает как квадрат расстояния до источника), помимо того он выявил роль хрусталика в глазу и создал таким образом теорию видения (наибольшие волнения и споры вызвало его заключение о том, что изображение на сетчатке глаза получается перевернутым: как совместить этот факт с тем, что мы все видим правильно?).

Истинного ученого интересует все, что он видит, и Кеплер обращает внимание на форму падающих снежинок: почему они в основном шестиугольные? И в 1611 г. он пишет трактат «О форме снежинок», где сравнивает их с пчелиными ячейками и зернами граната. С этого фактически начинается кристаллография. (Кеплер не ставит вопроса о происхождении их лучиков — тогда это было преждевременно, нам удалось прояснить эту проблему уже на основе квантовой теории.)

поддерживаемый и не понятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения!»

3. Уильям Гильберт

Свойства магнита притягивать железные предметы было известно еще в Древней Греции, китайцы, возможно, пользовались неким подобием компаса. Но первые серьезные исследования провел только Уильям Гильберт (1544—1603), лейб-медик королевы Елизаветы I: как ни удивительно, но только он первым попробовал — как должен был поступить любой любознательный мальчишка — разломать магнит, распилить его на куски и посмотреть, что из этого получится: оказалось, что каждая часть также является магнитом.

Затем Гильберт придумал важнейший прибор физики: догадался подвесить намагниченную иголку на нитку и с ее помощью доказал, что у каждого магнита есть два и только два полюса. (Далее мы упомянем о его соотечественнике П. А. М. Дираке⁹, который высказал, уже в XX в., сомнение в этом утверждении.) При этом одноименные полюса

⁹ См.: Перельман М. Е. Наблюдения и озарения, или Как физики выявляют законы природы: От кванта до темной материи. М.: URSS, 2012 (далее сокращенно: Перельман М. Е. От кванта до темной материи). Раздел I. Глава 4.

отталкиваются, а разноименные — притягиваются. Сила притяжения, как установил Гильберт, возрастает, если к магниту приделать арматуру — чистое железо, которое само не намагничивается, не может стать постоянным магнитом, а приобретает такие свойства только в магнитном поле.

Сделав железный шар и намагнитив его, Гильберт показал, с помощью иголок, что у этого шара такие же свойства, как у Земли, и потому назвал Землю большим магнитом. (Ранее предполагали, что магнитная стрелка компаса притягивается к какой-то точке на небе.)

Помимо магнетизма Гильберт занимался и исследованием электрических явлений. Здесь со времен Фалеса Милетского (640—550 до н. э.) было известно только то, что потертый о шерсть янтарь притягивает легкие мелкие тела (соломинки, бумажки). Гильберт начал пробовать наэлектризовывать трением и другие вещества и показал, что еще многие из них обладают такими же свойствами, причем, изобретя первый электроскоп, он начал количественно сравнивать свойства этих тел, скорость уменьшения величины электризации в зависимости от освещения, от влажности и т. д. Для всех этих свойств он предложил название «электричество» от греческого слова «электрон» — янтарь.

Отметим, что в последующие сто лет к его результатам и изобретениям, поистине гениальным по своей простоте, ничего нового не добавилось.

4. Атмосферное давление

Аристотель, как мы помним, ввел принцип «*природа боится пустоты*» и с помощью этой боязни пустоты (*horror vacui*) объяснял продолжение движения тел в отсутствии сил. Галилей попытался измерить силу этой самой боязни: он заполнял стеклянную трубку, запаянную с одного конца, водой, закрывал ее подвижным поршнем и опрокидывал, а затем привязывал к поршню грузики, чтобы измерить, при какой нагрузке сверху столба воды появится пустое пространство, т. е. будет преодолена сила боязни пустоты. (Теперь мы, конечно, понимаем, что таким образом измерялась сила сцепления столба воды.)

Эвангелиста Торричелли (1608–1647), гуляка и танцор, в 19 лет случайно попал на лекцию по математике в Риме — впечатление было такое, что вся жизнь его сразу перевернулась — он стал преданным учеником, а потом и преемником Галилея.

Проблема обострилась, когда к старому и почти слепому Галилею пришли садовники герцога Медичи: у них был вырыт глубокий, метров в 12, колодец, и ни один насос почему-то не поднимал оттуда воду к поверхности. Разобрать-

ся в проблеме Галилей попросил своего только что появившегося ученика Торричелли. Долгие раздумья ни к чему не приводили, пока

Торричелли не осенило, что вместо 12-метрового столба воды нужно попробовать проделать опыты с ртутью, которая в 13,6 раз тяжелее, и поэтому потребуется столб высотой меньше метра (можно считать, что в этот момент возник метод моделирования!).

В первом же опыте, по поручению Торричелли его провел в 1643 г. Винченцо Вивiani (1622—1703), в запаянную с одного конца стеклянную трубку длиной около 1 метра была налита ртуть. Вивiani зажал пальцем свободное отверстие, перевернул трубку и опустил ее вертикально в сосуд с ртутью. Ртуть начала выливаться и остановилась на высоте около 76 см, тут Торричелли осенила и вторая идея: над ртутью — пустота (сейчас она называется торричеллевой пустотой), а высота столба ртути соответствует давлению атмосферы — пресловутая «боязнь пустоты» не при чем!

Фактически Торричелли совершенно по-новому использовал закон сообщающихся сосудов: уже давно было известно, что если два вертикальных сосуда с водой соединить снизу трубкой, то вода будет между ними переливаться, пока не установится в обоих коленах на одном уровне. Если же в этих коленах разные жидкости, например вода и спирт, то высота столба более легкой из них оказывается выше: можно думать, что таким образом компенсируется ее легкость.

Ну а если в одном из колен не жидкость, а воздух? Сравним высоты столбов воды и ртути: по наблюдениям садовников вода поднимается только до уровня примерно в 10 метров, по измерениям Вивiani ртуть поднимается на уровень в 76 см. Таким образом, соотношение высот где-то около 13—15, что близко к отношению удельных весов ртути и воды. Следовательно, можно заключить, что в этом опыте одним коленом являлась трубка со ртутью, а вторым — вся атмосфера.

Однако эта идея, идея атмосферного давления, была столь нова и казалась настолько парадоксальной, что потребовалась изобретательность многих ученых, чтобы сделать ее естественной и будто само собой разумеющейся.

5. Отто фон Герике

Наглядно доказать всему миру существование пустоты и роль атмосферного давления сумел дипломат и многолетний (в течение 32 лет!) бургомистр славного торгового города Магдебурга Отто фон Герике (1602—1686) после того, как он изобрел воздушный насос.



«Я изобрел и построил ряд инструментов и приборов для доказательства существования не признаваемой до сих пор пустоты», — писал



Герике. И опыт, который он показал членам германского рейхстага 8 мая 1654 г., в наше время прошел бы первой строкой по всем мировым каналам телевидения. Проводился этот опыт, наиболее часто изображаемый в книгах по истории, так. Из большого медного шара, легко разделяющегося на два полушария

(когда они прикладывались друг к другу, соединение уплотнялось кожаной прокладкой), выкачивался воздух. Затем в кольца на полушариях впрягалось с обеих сторон по восемь лошадей-тяжеловозов, но — как их ни погоняли — оторвать полушария друг от друга они не могли. После этого любой желающий открывал кран, воздух со страшным грохотом врвался в шар, и тот легко разнимался руками. (Нам-то сейчас понятно, что привязывать по восемь лошадей с каждой стороны не обязательно: одну сторону можно было привязать к стене,

Определяющий вклад Герике внес в акустику: он доказал, что звук распространяется только через среду и может из одной среды переходить в другую. Для этого были проведены два остроумных опыта. Во-первых, Герике приучил рыбок в бассейне получать крошки хлеба одновременно со звоном колокольчика (выработал, говоря современным языком, условный рефлекс), а потом оказалось, что рыбы приплывают на звон и без показа крошек, т. е. слышат этот звон — следовательно, звук из воздуха переходит в воду, в другую среду. Во втором эксперименте он помещал звенящий колокольчик под колокол воздушного насоса; по мере откачки воздуха звук все слабел — следовательно он распространяется только в среде.

Интересно отметить, что примерно в то же время Торричелли обратил внимание на то, что сквозь вакуум в верхней части барометра проходит свет, т. е. он в отличие от звука распространяется через пустоту — это заключение вызвало многовековые дискуссии и было понято только в XX в.

но, во-первых, эффект был бы меньше, а, во-вторых, Третий закон Ньютона еще не был открыт.)

Помимо первого воздушного насоса и акустических опытов, Герике прославился тем, что он изобрел электростатическую машину, гигрометр, открыл явления электростатической индукции, свечения при истечении зарядов и т. д.

Но нас сейчас интересует другое: когда однажды, в 1660 г., показания придуманного им водяного барометра начали резко падать, Герике сообразил, что если давление воздуха здесь сильно уменьшается, то скоро в это место хлынут со всех сторон воз-

душные потоки и начнется буря, о чем предупредил всех жителей. Так было положено начало научному предсказанию погоды.

Однако научные истины не так просто воспринимаются. Для того чтобы метод Герике стал общепризнанным, потребовались почти два

века и катастрофа со множеством жертв: 2 августа 1837 г. начальник гавани Пуэрто-Рико предупредил моряков о невероятно резком понижении показаний барометра и предстоящей буре. Они его не послушались, и все 33 корабля, стоявшие в гавани, затонули!

6. Блез Паскаль

Блез Паскаль (1623—1662) был самым выдающимся вундеркиндом и одним из самых многосторонних людей в истории. Первые открытия он сделал в возрасте... 5 лет: отец зашел с гостями в детскую и увидел, что мальчик строит на полу треугольники из палочек — оказалось, что он так самостоятельно переоткрыл ряд начальных теорем геометрии. Помогая отцу, инспектору по налогам, в длинных расчетах, он изобрел и построил, по-видимому в 14 лет, первый механический арифмометр, в 16 лет написал книгу по математике, где изложил целый ряд новых результатов, позже положил начало теории вероятностей. Только три года, с 1647 по 1650, Паскаль интенсивно занимается физикой, где ему принадлежит немало открытий, а с 1653 г. он практически полностью погружается в религию, пишет две книги, с которых, по мнению многих, начинается современная французская литература.

Узнав об опыте Торричелли, Паскаль решает, что воздух под действием своего веса должен сгущаться книзу, т. е. атмосферное давление должно падать с высотой. Поэтому он, человек очень болезненный и физически слабый, просит своего зятя Ф. Перье соорудить по описаниям Торричелли два барометра и с одним из них подняться на гору (второй, для сравнения, остается у подножья). 19 сентября 1648 г. Перье осуществляет этот опыт (и входит тем самым в историю): поднимаясь на гору, он действительно видит непрерывное понижение столбика ртути — гипотеза доказана, давление действительно зависит от веса столба воздуха. Паскаль публикует брошюру с описанием опытов: боязни пустоты, пресловутого *horror vacui*, больше не существует!

Ну а зависимость давления от высоты столба воды, формулу для которой Паскаль вывел, он продемонстрировал при большом стечении знати во главе с королем в г. Клермон-Ферран. В крепкую законопаченную дубовую бочку, до отказа наполненную водой, была вставлена тонкая высокая, до третьего этажа, стеклянная трубка; когда в эту трубку был налит с соответствующей высоты всего один стакан воды, то сорокаведерная бочка не выдержала давления и разорвалась — зрители воочию убедились, что давление зависит не от массы воды, а только от высоты ее столба.

7. Роберт Бойль

Роберт Бойль (1627—1691), 14-й сын графа Корка, был не только выдающимся химиком, физиком и философом, но и светским человеком, дружил с королем Карлом II, который сам интересовался науками и опытами. Поэтому Бойль имел возможность содержать ассистентов и лаборантов для выполнения черновой работы в многочисленных экспериментах. (Бойль, человек религиозный, говорил, что боится умереть только потому, что «на том свете» все уже предопределено и нельзя экспериментировать!)

Особенно много однотипных измерений понадобилось, когда Бойль занялся исследованием давления в газах, до того никем не изучавшегося. Так, однажды, рассказывают, он, отправляясь на бал, поручил своему лаборанту продолжить измерять изменения объема газа в закрытом сосуде при изменении давления. С бала Бойль вернулся неожиданно рано и с негодованием обнаружил, что помощник спит в углу, а около него лежит бумажка с аккуратно выписанными длинными столбиками как будто измеренных цифр давлений и объемов. Разбуженный пинками лаборант лепетал, что мерить и не надо, что произведение объема на давление постоянно, но был, конечно, с позором изгнан.

И тут Бойль как-то задумался: а вдруг? Началась кропотливая и долгая работа, но идея, случайно высказанная малограмотным помощником, оказалась при всех проверках верной. Так возник закон Бойля—Мариотта. (Второй автор переоткрыл его несколько позже, но в английских книгах и по сейчас есть закон Бойля, а во французских — закон Эдма Мариотта (1620—1684), физика и ботаника.)

Бойль разрешил и старую загадку о том, что легче — вода или лед: он заполнил водой крепкий ружейный ствол, выставил его на мороз, и через два часа ствол лопнул. Всем стало ясно, что лед при замерзании расширяется.

8. Роберт Гук

Роберт Гук (1635—1703) начинал научную карьеру ассистентом Бойля. Затем он стал «куратором опытов» недавно образованного Королевского общества существующей и сейчас Академии наук Великобритании. Обязанностью Гука было повторять и перепроверять полученные обществом сообщения о новых открытиях, а также подготавливать и демонстрировать членам общества (на каждом заседании!) новые опыты. С одной стороны, это помогло его невероятной разносторонности как ученого, но с другой — вело к спешке, к переключению

с одного начатого исследования на другое, а потому он зачастую высказывал идеи, не успевая их обдумать и исследовать, а потом вел бесконечные споры о приоритете (в частности, с Ньютоном о законе Всемирного тяготения).

Гук первым догадался, что для лучшего разглядывания веществ и предметов под микроскопом их надо разрезать на тонкие слои и смотреть на просвет. Так, подкладывая под микроскоп все что только можно, он открыл, что все растения имеют клеточное строение, и придумал само слово «клетка». Далее он микроскопически доказал, что снежинки имеют кристаллическую структуру и т. д.

Еще одна идея, которая сейчас выглядит очень простой, но до Гука никому не приходила в голову, заключается в том, что твердые тела должны под нагрузкой деформироваться (всеми принималось, без проверки, что твердые тела, в отличие от газов и жидкостей, имеют всегда неизменную форму; напомним, что резина была изобретена много позже). Для проверки этого положения Гук исследовал возможность растяжения твердых тел под действием нагрузки — просто-напросто подвешивал узкие полоски различных металлов, прикреплял к нижней части полосок чашечку, в которую клались гири, и измерял (иногда с помощью микроскопа) величину удлинения. Так он выяснил, что удлинение всегда прямо пропорционально величине приложенной силы — это и есть знаменитый закон Гука. (Гук в то время не мог приложить такую нагрузку, при которой этот закон начинает нарушаться, поэтому сейчас диаграмму удлинения тел под нагрузкой делят на гуковскую и негуковскую части.)

Эти исследования Гука только в 1807 г. уточнил его соотечественник Томас Юнг (подробнее о нем — ниже): он выяснил, как коэффициент Гука зависит от длины и поперечного сечения растягиваемого тела.

Далее Гук аналогичными опытами доказал, что все вещества при нагревании расширяются. (Позже было выяснено, что это утверждение не совсем верно: вода при нагревании от нуля до 4°С сжимается, отклоняется от этого закона поведение полуметалла висмута и некоторых других, но такие исключения очень редки, а объяснения им были найдены только в XX в.)

Таким образом, Гук явился фактически основоположником физики твердого тела.

9. Гримальди

Вернемся несколько назад по времени и рассмотрим примечательный оптический эксперимент, который осуществил Франческо Мария Гримальди (1618–1663), монах-иезуит и физик. Эксперимент был очень

прост и многократно до того проделывался: в темную комнату через маленькое отверстие пропускался луч света, превращавшийся в комнате в конус, так что на экране получался яркий кружок или эллипс. Это все было хорошо известно.

Явление дифракции оказалось очень сложным, оно много раз перекрывалось, в том числе Ньютоном; сейчас существует целая область математической физики — теория дифракции, отличающаяся особой математической сложностью в решении задач, — до сих пор, за три с лишним века, несмотря на все усилия и многообразие изучаемых задач, точно и полностью удалось решить всего три из них.

Но вот Гримальди ввел в этот конус, на довольно большом расстоянии от отверстия, палку, тень которой должна была пересечь яркий кружок на экране. И неожиданно оказалось, что, во-первых, тень шире, чем следовало, исходя из идеи прямолинейного распространения

света, во-вторых, по обе стороны центральной тени можно было заметить, в зависимости от яркости солнечного света, одну, две или три темные полосы, и, в-третьих, края этих полос были голубоватыми со стороны центра и красноватыми с противоположного края.

Когда же Гримальди проделал два близких отверстия в ставнях, то смог заметить много новых особенностей при перекрытии светлых кружков на экране: вокруг каждого из них возникали темные кольца, места пересечения которых были светлее обоих колец. В дальнейших опытах он менял формы и размеры отверстий, их сочетания.

Таким образом, Гримальди открыл, что помимо отражения (рефлексии) и преломления (рефракции) существует и явление, которое он назвал дифракцией и которое состоит в частичном огибании светом препятствий.

10. Христиан Гюйгенс

Христиан Гюйгенс (1629–1685), гениальный физик и математик, вошел в историю прежде всего как величайший часовых дел мастер всех времен, который изобрел маятниковые часы, а затем придумал и часы с пружинным балансиrom.

Водяные и песочные часы существовали уже два тысячелетия, но каждый их экземпляр отличался своими особенностями, своей «скоростью хода». Солнечные часы, т. е. вертикальный столбик, тень которого передвигается с движением солнца и показывает время на начерченном циферблате, должны иметь много шкал, для каждого месяца года по крайней мере, и такие часы, конечно, не работают в плохую погоду и ночью.

Уже в XIII–XIV вв. стали сооружать колесные, или механические часы, в основном башенные. Их приводили в движение тяжелые гири на канатах, которые ежедневно накручивались на верхние валы,

а спускающиеся затем вниз грузы вращали системы колес и стрелки. Но гири при спуске постепенно ускорялись, и время «начинало течь быстрее».

Когда Галилей открыл изохронность маятника, то ему стало ясно, что маятник можно использовать для отмеривания промежутков времени. Можно было, например, написать, что за время спуска груза с такой-то наклонной плоскости маятник длиной в 1,5 м совершил пять колебаний, и тогда любой другой человек мог повторить этот опыт и проверить количественную правильность результата. Но не сидеть же и считать все время число колебаний: становилось ясно, что нужно изобрести и каким-то образом приделать к маятнику счетчик этих колебаний.

Изобретатели бились над этой проблемой около семидесяти лет — и никакого результата. А Гюйгенс решил задачу гениально просто (один из признаков гениального открытия, изобретения — когда оно совершено, то всем кажется, что любой мог бы до этого сам додуматься). Для чего, решил он, изобретать какой-то счетчик, есть ведь уже механические часы, они же и счетчик: нужно попросту приделать такой храповик, «собачку», чтобы при каждом колебании маятника, грузика на длинном стержне, эта собачка разрешала ведущему колесу поворачиваться на один зубец. (И сейчас встречаются такие самые простенькие часы с гирькой, чаще уже в наборах детских конструкторов, которые в точности повторяют часы Гюйгенса.)

Так была решена самая сложная на тот момент проблема измерительной техники.

Затем Гюйгенс изобрел часы с пружинным балансиrom, карманные или наручные (здесь его приоритет пытался оспаривать Гук, и не только он один). Эти часы смогли решить важнейшую задачу определения положения судна в море: британское адмиралтейство объявило открытый конкурс по поиску наилучшего способа определения долготы судна с громадной по тому времени премией. (Широту можно было определить по углу на солнце в полдень при наличии заранее рассчитанных таблиц.)

Изобретение пружинных часов эту проблему полностью решило. Если на судне есть точные часы, хронометр, показывающий время

Оказалось, что обычный маятник изохронен только при очень малых размахах (амплитудах) колебаний, а с ростом амплитуды его период колебаний увеличивается. Гюйгенс решает эту задачу — сначала чисто опытным путем, а затем и строго математически: нужно, чтобы с ростом амплитуды уменьшалась эффективная длина маятника, а для этого можно с его боков поместить «крылья», на которые налегает часть нити, так что эффективная длина ее становится меньше. Расчеты показали, что эти крылья должны иметь форму известной в математике кривой — циклоиды, но метод оказался малопрактичным, его используют очень редко, а в большинстве случаев просто строят часы с малым размахом колебаний маятника.

по гринвичскому меридиану, то определив их показание в полдень данного места, т. е. в момент, когда тени наиболее короткие, можно определить свою долготу: разница в один час означает отличие от гринвичского меридиана на 15° и т. д. (Солнце описывает полный круг в 360° за 24 часа, отсюда и получается эта цифра.) Заметим, что ранее одни и те же острова по многу раз переоткрывались, а их положения на картах отличались на тысячи миль.

Не подумайте только, что заслуги Гюйгенса ограничиваются часами, хотя и этого хватило бы для бессмертия в истории: он развил волновую теорию света и предложил принцип, который назван его именем и до сих пор является фундаментом всех волновых теорий, в том числе оптики и акустики.

А вот любопытная и поучительная история, описанная им в одном письме в 1693 г. В замке Шантильи под Парижем Гюйгенс заметил, что если встать между лестницей и работающим фонтаном, то слышен звук, напоминающий музыкальный тон: он предположил, что это происходит вследствие отражений от равноотстоящих ступенек. Измерив ширину ступенек, Гюйгенс делает бумажную трубку такой же длины и находит, что она издает тот же тон, — фактически лестница выделяет из шума фонтана одну резонансную частоту, а Гюйгенс нашел пример разложения шума в акустический спектр.

Теплота и температура

Исследование тепловых явлений началось в физике намного позже, чем явлений механики, акустики, оптики и даже магнетизма. Первый измерительный прибор построил Галилей: это была, в одном из вариантов, тонкая стеклянная трубочка с одним открытым концом и шариком на другом конце. Если в эту трубку поместить каплю воды, то при нагревании капля будет подниматься вверх, а при охлаждении — опускаться.

Такой прибор можно назвать термоскопом, он пригоден только для качественных исследований: показания зависят от атмосферного давления, капля со временем высыхает, все размеры прибора произвольны, нет никаких постоянных точек, с которыми можно было бы сравнивать температуру.

Отто фон Герике, прирожденный изобретатель, чуть усовершенствовал термоскоп: шарик внизу он сделал металлическим, присоединил к нему насос и в момент наступления первых морозов выкачивал воздух из шарика так, чтобы капля остановилась у определенной метки. Но, во-первых, наступление первых заморозков — понятие не слишком определенное, а во-вторых, шкалу нужно ограничить с двух сторон.

Какие же две температурные точки можно взять в качестве реперных? Предложений было много. Некий Даленсе предлагает выбрать точки замерзания воды и... плавления коровьего масла, знаменитый астроном Галлей — температуры глубоких подвалов и кипения спирта, Ньютон выбирает для своего термометра точку таяния льда и температуру человеческого тела и т. д.

Первым мастером, построившим более или менее совершенный спиртовой, а затем и ртутный термометры был Д. Г. Фаренгейт (1686—1736).

В 1657 г. во Флоренции, герцог которой Фердинанд II интересовался науками, была учреждена Академия опытов (*Accademia del Cimento*), первый научный коллектив в мире. И хотя через 10 лет она была закрыта по требованию папского Рима, за это время флорентийские академики смогли провести много интересных опытов. Так, в частности, они сообразили, что верхний конец термоскопа, в который вводилась капля подкрашенного спирта, удобно залить сургучом, что обеспечило долговечность прибора. Во-вторых, они ввели вторую отметку на шкале — температуру наибольшего летнего зноя во Флоренции. (Любопытно отметить, что академики впервые установили постоянство температуры таяния льда, но не сообразили использовать эту точку как репер для шкалы термометра.)

Фаренгейт открыл замечательное явление переохлаждения воды: как-то он долго кипятил воду в стеклянном сосуде, затем быстро его запалял и выставил на мороз. Утром он с удивлением увидел, что несмотря на сильный сильный холод вода в запалянном сосуде не замерзла, но когда он отломал запалянный кончик трубки, то вода замерзла почти мгновенно. (Мы к таким явлениям вернемся позже — в XX в. их стали использовать для создания приборов, в которых исследуются свойства элементарных частиц¹⁰).

Для их градуирования он помещал каждый термометр в такую смесь воды, льда и нашатыря или соли, замерзание которой соответствовало самому сильному холоду суровой зимы 1709 г. в Голландии, эта точка обозначалась как 0° (Фаренгейт, по-видимому, считал, что больших хо-

лодов не может быть). Затем термометр помещался человеку подмышку, и это температура обозначалась как 96°, тогда точка кипения воды соответствует 212°. (Шкала Фаренгейта до сих пор используется, в основном в англоязычных странах, градусы в ней обозначаются как °F.)

Наконец около 1740 г. Р. А. Ф. Реомюр (1683—1757) стал градуировать спиртовые термометры по двум постоянным точкам: таяния льда и кипения воды, а шкалу при этом делил от 0° до 80°. Цифру 80 он выбрал потому, что спирт, по его измерениям, расширялся при таком нагреве на 0,08 первоначального объема. Многие ученые стали вскоре этот довод отвергать и критиковать шкалу Реомюра (обозначаемую на кое-где сохранившихся термометрах как °R), и вскоре шведский физик А. Цельсий (1701—1744) ввел стоградусную шкалу. Первоначально у него лед таял при 100°, вода кипела при 0°, но вскоре шкалу перевернули, и она приняла привычный для нас вид. При введении метрической системы мер было решено называть ее шкалой центиградов и поэтому сохранить обозначения °C, но ввиду тождества первой буквы фамилии Цельсия с этим обозначением за шкалой, по-видимому навсегда, осталось название «Шкала Цельсия».

Следующий важный вклад в учение о теплоте внесли через несколько десятилетий, когда термометры уже вошли в обиход, Ж. А. Делюк (1727—1817) и Дж. Блэк (1728—1799). Делюк провел очень простой опыт: он поставил на плиту сосуд со льдом и термометром в нем, температура начала повышаться, но, как только лед стал таять, ее повышение остановилось, и она стала снова расти лишь тогда, когда весь лед растаял. Схожая картина наблюдалась и при кипении воды: температура не повышалась, пока вся вода не выкипала. Аналогичные опыты, несколько более точные, одновременно проводил и Блэк, они показали, что для перехода из одного агрегатного состояния в другое (сейчас чаще говорят о фазовых переходах первого рода) нужна, при неизменной температуре, определенная энергия, расходуемая (при плавлении

¹⁰ См.: Перельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел III. Глава 4.

или кипении) на разрыв связей между частицами вещества. Эту энергию позже стали называть скрытой теплотой перехода.

Как очень часто бывает, продвижение в физике оказалось связанным с усовершенствованием способов измерения. Таким новым способом при исследовании тепловых явлений стал ледяной калориметр, предложенный совместно великим химиком, фактически даже основоположником химии, А. Л. Лавуазье и великим астрономом и математиком П. С. Лапласом в конце XVIII в. Их калориметр был, в принципе, очень прост: нагретое до определенной температуры тело помещали в измерительный сосуд со льдом и определяли по количеству растаявшего льда теплоту, выделенную телом. Так удалось определить теплоты, необходимые для нагревания тел, т. е. удельные теплоемкости, теплоты горения веществ и т. д. (Любопытно отметить, что в ходе этих исследований, прерванных революцией, было, в частности, обнаружено, что при кипении воды пар заряжается положительно, а сосуд, в котором он образовывался — отрицательно. Явление это, позже подтвержденное Фарадеем, до сих пор не объяснено.)

Но все эти факты мало говорили о природе самой теплоты. Проще всего было принять, что теплота — это некий особый вид вещества, флогистон (теплород), который может переходить от одного тела к другому или содержаться в скрытой форме в некоторых веществах и выделяться из них при горении.

Первый удар по этой теории нанес Бенджамин Томпсон (1753—1814). Американец по рождению, он был в числе немногих соотечественников, выступивших на стороне Англии против независимости США. Поэтому после поражения англичан он бежал в Европу и, пройдя через множество приключений, поступил на службу в армию Баварского королевства. Там он получил (или присвоил себе, мнения историков различны) титул графа Румфорда. Но как физик он вошел в историю под этим именем.

Однажды, в 1798 г., Румфорда попал в арсенал, когда там высверливали в бронзовых болванках-стволах орудийные каналы, и тут его осенила самая блестящая из идей: теплород, предположим, может переливаться из одного тела в другое, но ведь тут холодные стволы сверлили холодными же сверлами — никаких переливов нет, а тепло появляется, причем даже при сверлении тупым сверлом, когда стружки и отверстия не возникают и вообще ничего ни в болванке, ни в свер-

Занимаясь изучением тепловых явлений, Румфорд как-то надолго оставил на огне плотно закрытый сосуд с мясом и вдруг обнаружил, что разварилось не только мясо, но и в значительной степени кости, т. е. он фактически открыл принцип, на котором созданы современные скороварки, котлы под давлением и т. д. (Румфорд, в частности, предложил варить так «суп для бедняков» — из костей, собранных у богатых и разваренных под давлением).

ле не меняется! Значит, тепло возникает в процессе трения — это был первый, по сути дела, удар по теории флогистона.

Следующий, и решающий, удар был нанесен Г. Дэви (о нем — ниже): он зимою в толстых, вряд ли пропускающих флогистон перчатках тер друг о друга два куска льда, и они расплавились! Откуда здесь было взяться теплороду? Нужно было признать, что теплота, помимо горения, может порождаться и трением.

Оставим сейчас на время вопросы термометрии, стоит только отметить, что проблемы определения температуры остаются наиболее сложными в измерительной технике: до сих пор точность ее регистрации — наинизшая из измерений всех физических величин.

Неувядающая классика: от Ньютона до Максвелла

Глава 1

Парадигма Ньютона

*Hypotheses non fingo*¹.

И. НЬЮТОН

1. Оптика Ньютона

Полностью описать заслуги Ньютона (1643—1727) перед наукой трудно: он фактически создатель классической физики (механики, земной и небесной, оптики) и математического анализа (независимо от Г. Лейбница). Поэтому остановимся лишь на некоторых из его открытий и попытаемся понять, как Ньютон мог прийти к ним.

В школьные годы он много занимался тем, что сейчас назвали бы моделированием: строил солнечные часы, маленькие ветряные и водяные мельницы и т. п., поэтому, вероятно, он, с одной стороны, заинтересовался всем общим, что было между ними, а во-вторых, приобрел навыки работы с разными материалами, что и пригодилось ему в дальнейшем.

Общая и, особенно, математическая подготовка Ньютона при поступлении в университет были явно недостаточными, но он так быстро догнал и перегнал своих соучеников, что уже через два года,



¹ Гипотез не измышляю — лат.

Рене Декарт (1596–1650), современник мушкетеров Александра Дюма, искал — как и они — приключений, поэтому нанялся в одну из германских армий и как-то провел во время похода всю холодную ночь без сна, сидя на стуле внутри громадной деревянной печи. Тогда-то, как он потом рассказывал, возникла идея о том, что можно геометрические теоремы доказывать алгебраически: для этого он придумал, впервые, системы координат — это был первый большой прорыв в математике со времен древних греков. В физике, помимо работ по оптике, ввел понятие силы, инерции, сформулировал закон сохранения импульса, стремился построить картину мира как совокупности движения больших и малых частиц (вихрей); считается основоположником философии Нового времени. Декарт был апостолом свободы человеческого разума и его способностей, он писал, что на истину «натолкнется скорее отдельный человек, чем целый народ», а всякое знание нужно проверять с помощью «света естественного разума».

в 20 лет, начал помогать своему руководителю, профессору математики Барроу, в издании его книги по геометрии, а к 26 годам занял кафедру, которую Барроу ему уступил².

Экспериментальные исследования Ньютон начал с оптики. В первом параграфе «Оптики» он провозглашает: «Мое намерение в этой книге — не объяснять свойства света гипотезами, но изложить и доказать их опытами и рассуждениями».

Что же к началу его работ было известно о свете? Закон отражения света знали еще в древ-

ности, закон преломления света при его переходе из одной среды в другую был экспериментально проверен и сформулирован Виллебрордом Снеллиусом (1591–1626), но опубликован позже, уже в математической форме, в книге Рене Декарта без ссылки на Снеллиуса.

Пьер Ферма (1601–1665), юрист по образованию, проработал всю жизнь в судебной системе, но при этом являлся автором замечательных исследований по математике, которые, как правило, сообщал в письмах своим друзьям, в том числе Б. Паскалю, Р. Декарту, Э. Торричелли, Х. Гюйгенсу (широкой публике наиболее известна Великая теорема Ферма из области теории чисел).

Оба этих закона могут быть выведены из замечательного принципа³, установленного Пьером Ферма: «Природа всегда следует по кратчайшему пути», но Ньютон, по-видимому, этого принципа не знал.

Не зная, по-видимому, и об исследованиях Гримальди, Ньютон повторяет их — и здесь ясно проявляются различия между талантом и гением: одни и те же наблюдения талант фиксирует, описывает, а гений делает их основой новой теории.

Итак, Ньютон прорезает маленькое отверстие в ставнях окна и превращает всю затемненную комнату в лабораторный прибор.

² Возглавлять кафедру математики Кембриджского университета, которую занимал Ньютон, и сейчас считается самой большой честью для физика-теоретика в Англии. С 1977 г. это место занимал Стивен Хокинг, о котором мы еще будем говорить.

³ Принцип Ферма — это первый из так называемых вариационных принципов, которые обобщают множество уравнений и теорий выражением типа: из всех допустимых законами сохранения событий наиболее вероятными (или единственно возможными) являются те, которые соответствуют минимуму (иногда максимуму) некоторой определенной функции.

На пути луча он устанавливает стеклянную призму, а за ней — экран и рассматривает полученный спектр. Первый вопрос — является разложение света в спектр случайным или закономерным? Второй призмой Ньютон собирает все или часть лучей разных цветов вместе и так доказывает, что белый свет действительно содержит в себе все эти цвета (этот вопрос уже много десятилетий яростно обсуждался, но никому не пришло в голову, что его можно решить так просто, складывая лучи, т. е. обратным преобразованием спектра!).

Далее Ньютон доказывает, что показатели преломления лучей разного цвета различны: покатель преломления — наименьший для красных лучей и наибольший для фиолетовых, тем самым Ньютон основывает теорию дисперсии света (в современном понимании — зависимости показателя преломления от частоты). Для этого он с помощью экрана, в котором сделана маленькая дырочка, выделяет из спектра отдельные лучи и, рассматривая их прохождение через вторую призму, показывает, что, во-первых, они далее уже не разлагаются на какие-либо цвета, т. е. являются первичными, а во-вторых, углы отклонения для разных цветов различны. (Этот эксперимент Ньютон назвал «*experimentum crucis*», в буквальном переводе — «крестный эксперимент», а в переносном значении, вошедшем с тех пор в литературу, — «решающий опыт».)

На этой основе Ньютон смог наконец объяснить то разложение света в капельках воды в атмосфере, которое приводит к появлению радуги. Поскольку в любой стеклянной линзе или даже в их комбинации, как думал Ньютон, фокусные расстояния из-за явлений дисперсии для разных частей спектра различны (так называемая хроматическая аберрация — от латинского «отклонение») и, как ему казалось, — и гении ошибаются! — этот недостаток неустраним, то поэтому невозможно построить идеальный телескоп с линзами. И Ньютон строит своими руками телескоп-рефлектор, т. е. зеркальный телескоп, в котором нет линзового объектива, и потому нет хроматической аберрации (1671, этот телескоп хранится в музее Королевского общества). Именно с этого телескопа, а не с фундаментальных исследований, начинается широкая слава Ньютона, профессора математики 29 лет: его телескоп, размером чуть более 20 см, оказался эквивалентным

Обладавший от природы поразительно тонким зрением, Ньютон понял, что спектр солнечного света содержит бесконечное количество оттенков (опытные цветоведы различают и называют до 10 тысяч, в рекламе новых моделей телевизоров — кто ее там проверит! — нередко фигурирует и 65 тысяч оттенков, а можно, в принципе, назвать с тем же отсутствием основания и больше), но для удобства он разделил спектр на семь основных цветов — такое деление и сейчас принято в большинстве языков, хотя все мы, конечно, различаем, например, пунцовый, алый, карминный, багряный, пурпурный и т. д., но для краткости объединяем их в «красный».

Именно с этого телескопа, а не с фундаментальных исследований, начинается широкая слава Ньютона, профессора математики 29 лет: его телескоп, размером чуть более 20 см, оказался эквивалентным

После исследований, проведенных с призмами, Ньютон переходит к изучению оптических явлений в тонких пленках. Этими вопросами уже занимались Бойль и Гук (они восторженно пишут о красоте получаемых цветов, но даже не думают об их природе и расчетах). Было ясно, что трудности здесь начинаются с приготвления, нарезания таких пленок или их осаждения из растворов — Ньютон, что для него естественно, придумывает новый и самый простой способ: стеклянная линза (чечевица), выпуклая только с одной стороны, прижимается этой выпуклой стороной к плоской стеклянной пластинке. При этом в центральной точке линза плотно прижата, а при удалении от центра расстояние между линзой и пластиной начинает возрастать; зная радиус линзы, эти расстояния легко рассчитать. Можно заливать в эти промежутки различные жидкости и, получая таким образом пленки различной толщины, исследовать изменение их оптических характеристик.

При пропускании через эту систему одноцветных лучей возникает такая картина: через центр системы свет свободно проходит, а при удалении от центра начинается чередование темных и светлых колец (их называют «кольцами Ньютона»).

линзовому телескопу-рефрактору с длиной трубы более пяти метров! И Ньютон немедленно избирается членом Королевского общества. (Отметим, что и дальше Ньютон совершенствовал этот тип телескопа, искал и находил новые составы для отливки зеркал, способы их полировки.)

Ньютон принимал, беря за основу явления прямолинейного распространения света, что свет — это поток частиц, корпускул, поэтому ему пришлось придумывать очень сложный механизм объяснения этого явления, в который не стоит вдаваться. Объяснить всю совокупность подобных явлений смогла теория Гюйгенса, считающая свет волновым явлением (в XX в. оба подхода были объединены в квантовой теории). Согласно волновой теории, световые волны, отраженные от обеих поверхностей тонкой пленки или зазора между телами, складываются (интерфериру-

ют), за счет чего могут усиливаться или ослабляться. Нужно отметить, что по ширине колец Ньютон мог точно рассчитать расстояния между телами в данной точке, и до сих пор такой метод определения малых расстояний является одним из точнейших и используется в измерительной технике.

Нужно остановиться еще на одном, тогда казавшемся незначительным, наблюдении Ньютона. Ранее было выяснено, что поскольку угол между лучом и перпендикуляром к поверхности в более плотной среде меньше, т. е. свет в более плотной среде как бы «прижимается к перпендикуляру», то не все траектории световых лучей могут при подходе изнутри к поверхности, скажем, воды преломиться и продолжиться в воздухе. Пусть, например, луч идет из воды в воздух так, что угол между лучом и перпендикуляром к поверхности равен 20° . Выйдя из воды, луч меняет направление распространения, и угол между лучом и перпендикуляром в воздухе будет больше, порядка 27° . Если еще сильнее отклонять луч в воде от перпендикуляра, то при угле в 49° луч, вышедший в воздух, будет скользить по поверхности, а при дальнейшем

увеличении угла свет, идущий из воды, будет только отражаться от поверхности — в воздух луч не выйдет. Это явление называется полным внутренним отражением и, как выяснилось во второй половине XX в., ведет к удивительным техническим приложениям.

Так, если световые лучи распространялись внутри стекла, то они должны полностью возвращаться в исходную среду, претерпевать полное внутреннее отражение на чистых поверхностях и отражаться безо всяких потерь — в отличие от зеркал, где потери при отражении неизбежны. Именно поэтому по тонкому волоконному световоду, в котором лучи все время подходят изнутри к его поверхности под углом, большим критического, свет может распространяться на громадные расстояния — это так называемые волоконные световоды, соединяющие ныне все материки и успешно конкурирующие с электрическими линиями, передающими информацию.

Изучая это явление, Ньютон, однако, замечает, что свет, претерпевающий полное внутреннее отражение, частично, на очень малое расстояние, выходит из стеклянной пластины в месте отражения луча и затем снова заходит вовнутрь, описывая в воздухе какую-то непонятную траекторию. Это мимолетное наблюдение затем много раз переоткрывалось: иногда его называли эффектом Зелени, вновь заметившего его в 1910-х гг., сейчас чаще — эффектом Гуса—Хансена, подробно исследовавших его в 1947 г. Называют это явление нарушенным полным внутренним отражением, и на его основе уже в наше время строится, начиная с 1990-х гг., так называемая оптика ближнего поля.

Оптическими исследованиями Ньютон занимался до 1675 г., когда у него разгорелся жаркий спор с Гуком по вопросу о приоритете, и Ньютон решил ничего не публиковать при жизни Гука — он всегда очень болезненно воспринимал критику своих работ. Поэтому его «Оптика» вышла в свет только в 1704 г. («Лекции по оптике» опубликованы посмертно, в 1728 г., обе книги есть в русском переводе). Отметим, что вопреки своему девизу — не строить гипотез — Ньютон в конце своей «Оптики» приводит целый список предположений, только называет их не гипотезами, а «вопросами»: ясно ведь, что без выдвижения предположений проводить исследования невозможно.

Нужно сказать, что Ньютон вообще не торопился с публикациями: он скрупулезно и многократно проверял свои наблюдения и расчеты, откладывал старые работы, так как увлекался новыми, и, кроме того, считал, по-видимому не без оснований, что не имеет соперников и на много опережает свое время. Поэтому его великое математическое изобретение, дифференциальное и интегральное исчисление, пролежало в столе вплоть до появления аналогичных статей Г. Лейб-

ница, что и привело затем к многолетней полемике о приоритете — спорили не сами ученые, а их ученики.

2. Исаак Ньютон: единство физического мира

Во всех школах изучение механики базируется на трех законах Ньютона. О Первом мы уже говорили, Второй закон (их, как имена собственные, предпочтительно писать с большой буквы) связывает ускорение, точнее изменение импульса, с действием силы. Является ли именно такое описание явлений единственно возможным? Гениальный Генрих Герц, о котором мы еще будем говорить, показал, что можно построить всю механику вообще не вводя понятия силы, а это означает, что Ньютон заставил весь мир говорить — и весь мир говорит и будет говорить — на таком языке, который он придумал и ввел: попробуйте-ка обходиться в разговоре без слова «сила».

Теперь Ньютон переходит к тому, что можно было бы назвать *принципом единства мира*. Сейчас как-то трудно даже представить себе, что в то время не было оснований думать, что законы, управляющие явлениями на Земле, должны распространяться и на небесные явления (на горный мир, как когда-то говорили) — планеты движутся вокруг Солнца по кеплеровым эллипсам, но кто и где видел эллипсы, по которым могли бы двигаться тела на Земле?

Гипотеза, которую выдвинул Ньютон, — одна из самых смелых, возможно самая смелая в истории физики: он предположил, что Небеса (после первоначального божественного толчка) управляются теми же законами, которые он изучал в земных условиях. А для доказательства этого предположения нужно показать, что законы Кеплера являются лишь частным случаем законов земной физики, законов притяжения.

Можно думать, что именно движение брошенных тел могло навести Ньютона на выявление закона притяжения и исследование его особенностей⁴. К этому времени Ньютон уже поверил в свой первый

⁴ Хронологически можно рассказать о яблоке, падение которого якобы привело Ньютона к идее о законе Всемирного тяготения. Но этот рассказ слишком известен и к тому же, вероятно, апокрифичен: опубликован он впервые Вольтером со слов то ли племянницы Ньютона, то ли ее мужа, людей, мало в науке и ее истории разбирающихся. Но самому Вольтеру принадлежат громадные заслуги в популяризации идей Ньютона во Франции, а значит и во всей Европе. При этом в занимательно и доступно написанной книге о ньютоновой механике ему нужны были пикантные подробности, «оживляж», говоря по-современному. Говорят, что сам Ньютон на вопрос о том, как он открыл этот закон, отвечал: «Я думал об этом», но не уточнял, сколько лет.

закон, закон инерции. (Схожие рассуждения были еще у Галилея, но он считал, что тела, на которые не действуют силы, должны — и здесь он соглашался с Аристотелем — двигаться по окружности, и именно так, по его мнению, вращаются планеты, поэтому Галилей не поверил в эллипсы Кеплера. Инерция прямолинейного движения впервые была постулирована Р. Декартом.)

Рассуждения Ньютона могли идти по такому пути: чем больше горизонтальная скорость брошенного тела, тем дальше оно пролетит, и если бы Земля была плоской, то при любой горизонтальной скорости тело в конце концов упало бы вниз. Но поскольку Земля круглая, то горизонтальное (по отношению к начальной точке) движение удаляет его от поверхности, а свободное падение — приближает. Следовательно возможно такое сочетание этих двух движений, которое — в результате сложения обоих движений в каждой точке — приводит к вращению по кругу или движению по иной кривой.

Гениальная догадка Ньютона, самая плодотворная во всем его творчестве, состоит в том, что земное притяжение действует не только вблизи самой Земли, но простирается вдаль, во всяком случае до Луны. Но тогда возникает загадка: почему же Луна не падает на Землю?

Ньютон решает проблему так. Поскольку скорость Луны известна, то известно, какой путь она проходила бы в единицу времени по касательной к орбите в отсутствии притяжения Земли. Теперь, зная на сколько за это же время Луна отошла от прямолинейного пути, можно попробовать рассчитать, какая сила на нее действует по направлению к Земле. При движении по окружности, как проверял Ньютон (еще ранее Гюйгенс), сила натяжения веревки, на которой крутят грузик, обратно пропорциональна длине веревки. Но сила тяготения может по-иному зависеть от расстояния — надо попробовать любые степени такой зависимости: эвристическим моментом здесь может служить согласование с Третьим законом Кеплера, связывающим периоды обращения планет с их средним расстоянием до Солнца. А такое сравнение оставляет только одну возможность — сила притяжения должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния (такую идею, без доказательств, чуть ранее высказывал Гук; по Галилею, эта сила вообще не должна была бы зависеть от расстояния, так как он принимал, что ускорение свободного падения есть величина постоянная).

Ясно, что сила притяжения должна как-то зависеть от физических характеристик обоих тел — Земли и Луны. Но от каких именно характеристик и как зависеть? Рассуждать здесь можно так: в выражение для центростремительной силы, определяемое Вторым законом

Ньютона, входит один параметр — масса вращающегося тела; Третий закон Кеплера определяет какую-то константу, единую для всех планет, а это единство определяется только параметрами Солнца; из сравнения обоих выражений можно думать, что эта константа — масса Солнца. Отсюда можно предположить, что сила тяготения определяется обеими массами.

Ньютон гордо провозглашал: «Гипотез не строю», но скорее это был полемический прием, лучше было бы сказать: «Не ввожу их без крайней к тому необходимости» — гипотезы в его рассуждениях, конечно, присутствуют. И одна из них — это предположение, что сила тяготения пропорциональна массам тел, т. е. именно тем характеристикам, которые обуславливают, согласно его Второму закону, инерцию (эту гипотезу, равенство гравитационной и инерционной масс, через два с лишним столетия А. Эйнштейн ввел как основную в общей теории относительности).

Можно подойти к этой теории Ньютона несколько по-иному и считать, что его величайшая заслуга шире и состоит в некотором объединении физики и геометрии. Дело вот в чем: если рассматривать, скажем, деревянный кубик, то у него есть три измерения: длина основания, ширина и высота — все они равноценны и просто меняются местами, если кубик перевернуть. А вот с движущимися телами на Земле положение иное: по двум горизонтальным направлениям тело может, при отсутствии трения, двигаться равномерно, по инерции, а по вертикальному направлению — нет: движение будет ускоренное при падении или замедленное при подъеме вверх.

Значит ли это, что вертикальное и горизонтальные направления различны по своим физическим свойствам? До Ньютона так и считалось, а вот он *предположил*, и это было самым главным, что все направления в пространстве одинаковы (как в геометрии!), а различия вызваны тем, что в вертикальном направлении, и только в нем, действует какая-то сила, которую он назвал силой Всемирного тяготения и законы действия которой смог определить. (Следующий шаг в этом направлении сделал через два с лишним века А. Эйнштейн: в его теории тяготения мир стал еще более геометричным, но подчинялся уже не геометрии Евклида, которой пользовался Ньютон, а более сложной геометрии Римана.)

Ньютон считал, и это для его времени было единственно возможным, что пространство повсюду в мире имеет одни и те же свойства и во всех его точках время течет одинаково — такой подход называется *теорией абсолютного пространства-времени* и, как увидим, был изменен только в теории относительности. Тяготение, считал Ньютон,

распространяется во всей Вселенной мгновенно, это положение также меняется в теории относительности, и его только недавно удалось проверить экспериментально.

Говоря о гении такого масштаба и такого влияния на ход истории, как Ньютон, нельзя не подумать о том, что служило основой его мировоззрения⁵. Представляется, что основой всей его деятельности было желание упорядочить и свести к минимальной, как сейчас бы сказали, аксиоматической базе строение всей Вселенной. Именно поэтому после завершения построения механики и оптики он сосредотачивает все усилия на химии, но, не сумев систематизировать свои наблюдения и опыты, практически ничего о них не публикует (Ньютон при этом сослался на пожар в лаборатории, в котором сгорели его записи). Очень много времени и сил Ньютон уделяет, после окончания своих исследований по физике, теологии, склоняясь при этом к арианству, т. е. к отрицанию божественной сущности Иисуса: это упрощает религиозную догматику. Далее

Ньютон пытается рационализировать библейскую хронологию и сопоставить ее со всеобщей историей⁶, разработать универсальный язык и т. д. (Мне посчастливилось видеть и даже держать в руках

Современники Ньютона рассказывали, что среди студентов Кембриджа при появлении учебного можно было услышать: «Вот идет человек, который написал такую книгу, что в ней ни он и никто другой ничего не понимает!» С особенно большим трудом усваивался Третий закон Ньютона, закон равенства сил действия и противодействия: даже гениальный Гюйгенс не понял этот закон и возражал против его формулировки, которая без труда внедрялась уже через 100–150 лет в головы восьмиклассников. (До сих пор приходится сталкиваться с изобретателями вечных двигателей и тому подобных устройств, которые почему-то думают, что противодействие наступает несколько позднее самого действия, и за этот промежуток, полагаемый ими какой-то «временной зазор», что-то такое можно сотворить...)

В чем же тут дело? Заметим, что физика Аристотеля была гораздо ближе к нашим наблюдениям, к нашему опыту. Мы ведь действительно видим, что тяжелые тела падают вниз, а огонь стремится вверх, что солнце всходит и заходит; а кто видел инерционное движение — с неизменяющейся скоростью? Опыты, на которые ссылались Галилей и Ньютон, нужно было мысленно продолжать, экстраполировать ко все меньшему влиянию каких-то факторов (например, трения), а это очень не просто.

Можно сказать, что принятие парадигмы Ньютона требовало изменения всего стиля мышления, а такое изменение во взрослом, сформировавшемся уже сознании, и тем более в подсознании, почти невозможно (потом мы увидим, что с таким же сложностями в мир входила парадигма Эйнштейна).

⁵ Эта проблема наиболее полно рассмотрена в книге: *Койре А. Очерки истории философской мысли.* М.: URSS, 2004.

⁶ Первая написанная работа Ньютона относится к теологии, равно как и последние. По совершенно непонятным причинам большинство из них до сих пор не опубликовано: большая часть его архива находится сейчас в Национальной библиотеке Израиля вместе с архивом Эйнштейна. (По последнему опросу общественного мнения в Англии, проведенному в 2002 г., в десятку величайших соотечественников попали, наряду с Ньютоном, Дарвином и Шекспиром, политические деятели — королева Елизавета I, У. Черчилль, О. Кромвель, флотоводец Нельсон, а также принцесса Диана и Джон Лен-

рукописи Ньютона — длиннейшие листы с аккуратными колонками расчетов; легко представить сколько времени и терпения требовалось для этих подсчетов — вручную, без помощников и ассистентов.)

Ньютон великолепно понимал свою роль в истории, поэтому ему абсолютно не была нужна и, вероятно, претила общественная слава. Но если он выполнял какие-то государственные обязанности, то относился к ним так же серьезно, как и к научным исследованиям. Так, благодаря систематичности и строгости своего рационалистического мировоззрения, он смог сыграть основную роль в упорядочении монетарной системы Англии: создать новые машины, разработать принципы градации монет и т. д. В парламенте Ньютон, много лет представлявший свой университет, выступил, как известно, только один раз, попросив закрыть окно, из которого дуло; тем не менее он, не афишируя того, заставил парламент принять немало важных постановлений. Так же, без внешних эффектов, он много лет руководил и работой Королевского общества.

3. Даниил Бернулли: гидроаэродинамика

Ньютон рассматривал в основном такие проблемы, в которых участвуют всего два тела, которые можно считать точечными (исключение — некоторые задачи трения, которые Ньютон исследовал). Переход к задачам многих тел первым осуществил в 1738 г. великий математик и механик Даниил Бернулли⁷, создатель гидроаэродинамики и один из основоположников теории вероятностей. Он впервые начинает рассматривать газы как совокупность колоссального количества маленьких частиц, находящихся в хаотическом движении.

Бернулли объясняет давление как следствие ударов этих частиц о стенки сосуда и на этой основе выводит закон Бойля—Мариотта. Он понимает разницу между температурой и теплом: теплота заставляет частицы двигаться быстрее, а разница температур заставляет тепло течь от одного тела к другому. (В этих работах он фактически ввел понятие работы и коэффициента полезного действия.)

Самой плодотворной, однако, стала его работа по гидроаэродинамике. В ней Бернулли определяет кинетическую и потенциальную энергии единичного объема жидкости (называет он их — в соответствии

нон — вряд ли англичане, при таком наборе мнений, расщедятся на полное собрание сочинений Ньютона.)

⁷ Точнее, Даниил I Бернулли (1700–1782).

с принципами Лейбница, о которых скажем ниже, когда будем рассматривать «дискуссию о силе», — живой и мертвой силами). Затем он фактически постулирует закон сохранения полной энергии при течении жидкости (хотя такой закон был установлен и признан лишь через сто с лишним лет) и на этой основе доказывает свою знаменитую теорему о том, что с ростом скорости течения уменьшается давление вбок.

Бернулли выводит этот результат математически, но как могла у него возникнуть идея о существовании такого явления? Еще Паскаль установил, что в покоящейся жидкости давление во все стороны одинаково — ведь если бы оно было

разным, то обязательно возникли бы течения. Но в потоке, конечно, давление вперед должно быть больше, и встает вопрос: а должно ли чем-то компенсироваться это увеличение давления в одну сторону?

И Бернулли разрешает загадку: должно убывать боковое давление!

Эта теорема (точнее, закон, потому что он покоился на шатких в то время основаниях) ведет к громадному количеству эффектов. Так, из нее следует, что быстрый поток жидкости (или газа) должен втягивать в себя, поскольку в нем давление меньше, близкие предметы — это наблюдается, например, в случае смерча или тайфуна. Если в воздухе летит вращающийся вокруг оси снаряд или мяч, то он частично увлекает с собой воздух, и потому на одной его стороне скорость воздуха больше, а на другой — меньше, значит давления на них разные, и летящее тело уклоняется вбок; именно поэтому иногда удается в футболе забить «крученный» мяч с углового прямо в ворота, а в артиллерии необходимо учитывать такое уклонение (этот эффект был подробно исследован только в 1852 г. Г. Г. Магнусом и носит его имя).

С этой теоремой связан и знаменитый парадокс⁸ Д'Аламбера—Эйлера: если в текущую идеальную жидкость погрузить абсолютно

Династия Бернулли — десять выдающихся математиков, несколько из них, без сомнения, гениальны — представляет собой единственный в истории случай наследственно передающейся гениальности в последовательном ряде поколений: историкам приходится придавать им, как царствующим монархам, порядковые номера (Яков I, II, Иоганн I, II, III). На протяжении более двухсот лет кафедрой математики в университете Базеля (Швейцария) заведовали только Бернулли, но рамки одного города им были тесны, и многие из них работали в других странах, в частности, Даниил I восемь лет провёл в Петербурге, там же жили некоторое время Николай II и Яков II. История этой семьи представляет собой неразрешимую загадку для биологов и психологов: помимо генетически, видимо, обусловленной передачи таланта, нужно отметить, что иногда им, живущим в разных странах, одновременно приходили в голову одни и те же идеи, из-за чего потом возникали споры о приоритете.

⁸ Парадокс — по-гречески «неожиданный», «странный». Это логически правильное суждение, которое на первый взгляд кажется совершенно невероятным, противоречащим всему прежнему опыту. Разрешение возникающих парадоксов — один из основных способов развития науки.

Наиболее плодотворным явилось использование закона Бернулли в авиации. В первых конструкциях самолетов братьев Райт (1903) крыло делалось с некоторым наклоном, углом атаки, и поэтому давление воздуха на него создавало такую вертикальную составляющую, которой хватало для преодоления веса аппарата (сейчас такая схема используется только в конструкциях элеронов, рулей высоты). Схема эта, конечно, очень непрактична, ведь наклоненное крыло ведет к большому встречному давлению и тормозит весь самолет. Однако, как показал Николай Егорович Жуковский (1847–1921), можно вообще обойтись без наклона: если крыло самолета снизу плоское, а верхняя его поверхность выпуклая, то воздух будет обтекать верхнюю часть с большей скоростью, чем нижнюю, — давление Бернулли на нижнюю плоскость будет выше, чем на верхнюю, и возникнет подъемная сила!

гладкое тело, например шар, то, поскольку жидкость будет одинаково обтекать его со всех сторон и смыкаться после него, давление на этот шар со всех сторон одинаково, т. е. на него никакие силы не будут действовать, и он должен двигаться в жидкости без сопротивления. Разрешение этого парадокса состоит в том, что нужно учитывать вязкость жидкости (она частично увлекается телом, и потому ее плотность перед телом и за ним различны) и возможность образования в ней вихрей.

Наличие вязкости приводит, как и трение при движении по поверхности, к диссипации (от латинского «рассеивание») энергии и импульса течения, частично передаваемых другим телам. При этом все течения подразделяются на два класса: ламинарное (от латинского «слоистый») и турбулентное (латинское «вихревой»).

В исследование ламинарных течений особый вклад внес Жан-Луи-Мари Пуазейль (1799–1869), а случилось это так. Врач по профессии, он заинтересовался вопросами кровотока, но кровь — жидкость вязкая, и течет она по узким сосудам различных диаметров, так что важно выяснить, что происходит при переходе из одних сосудов в другие.

Первым течение вязкой жидкости рассматривал еще Ньютон, определяя вязкость как некоторое внутреннее трение между плоскими слоями жидкости. Пограничный слой, непосредственно прилегающий к поверхности, как считал Ньютон, практически не течет, а у следующих слоев скорость постепенно возрастает; количество жидкости, которое может протечь, определяется при этом разностью давлений на входе и выходе канала, площадью сечения канала и особым коэффициентом, зависящим от свойств жидкости и названным коэффициентом динамической вязкости (он, в честь Пуазейля, измеряется в пуазах).

Но закон Ньютона относился только к течению по плоским, и притом широким, каналам. Поэтому Пуазейль начинает моделировать кровеносные сосуды трубками разного диаметра и устанавливает, сначала экспериментально, а затем и строго математически, такой парадоксальный факт: количество вязкой жидкости, которое может пройти через трубку, очень сильно зависит от диаметра последней —

при уменьшении диаметра трубки в два раза ее пропускная способность уменьшается в 16 раз, т. е. пропорционально четвертой степени. Поэтому при разделении сосудов на более мелкие их суммарное сечение должно существенно возрасти: так, площадь сечения (просвет) всех капилляров организма в сотни, а то и в тысячи раз больше площади сечения аорты. (Отметим, что до сих пор остается загадкой, какая часть давления в капиллярах кровеносного русла обеспечивается не нагнетательной работой сердца, а колебаниями стенок сосудов, и чем эти колебания вызываются.)

При этом, отметим, Пуазейль не забыл своей профессии врача и разработал способ измерения кровяного давления с помощью манометра, который до сих пор является одним из важнейших диагностических методов. Таким образом, Пуазейль основал новую область исследований в биофизике, которая сейчас называется гемодинамикой.

Следующий важный шаг в этом направлении сделал Джордж Габриэль Стокс (1819–1903): он теоретически установил, что при медленном падении гладкого шара в вязкой жидкости сила сопротивления пропорциональна скорости шара и его радиусу.

Эти два закона, Пуазейля и Стокса, интересны с общей точки зрения еще и тем, что они как бы бросают вызов физической интуиции. Казалось бы, сопротивление движению должно быть пропорционально поперечному сечению падающего шара, а оно оказывается вовсе не таким: оно пропорционально радиусу, т. е. квадратному корню из сечения! С другой стороны, пропускная способность трубки тоже, казалось бы, должна быть пропорциональна величине ее сечения, а она зависит от квадрата сечения. Таким образом, эти явления показывают пределы возможностей интуитивного рассмотрения физических явлений.

Вихревое, турбулентное движение жидкости намного сложнее ламинарного. До сих пор, например, далеко не все понятно в природе образования смерчей.

Изучение вихревого движения имеет, помимо научного, и значительный технический интерес. Дело в том, что на образование вихрей тратится очень много энергии, поэтому одна из основных задач конструкторов — улучшение обтекаемости самолетов и кораблей, чтобы помешать возникновению вихрей. (В этой связи интересно отметить парадоксальное на первый взгляд явление: сопротивление, а следовательно и потери энергии при движении, у подводных кораблей могут быть меньше, чем у надводных, так как надводные корабли вызывают при движении образование на поверхности волн, больших, чем создаваемые подводными кораблями в толще воды. С этим связана и загадка

Течение вязких жидкостей, например нефти или смесей компонентов в ходе многих технологических процессов, выделилось в особую дисциплину, называемую реологией (от греческого «реос» — поток) или динамикой течений неньютоновских жидкостей (насмешники называют ее «физикой канализационных труб», но с этим наименованием лучше быть осторожным!). Сложность исследований состоит в том, что в таких системах нужно учитывать возможность возникновения сжатий и деформаций «жидкостей» при наличии в них твердых составляющих, при химических реакциях и т. д. В этой области пробовали свои силы многие выдающиеся физики, и поэтому в ней разработаны модели Сен-Венана, Максвелла, Кельвина, но более общей теории все еще нет.

Следующий класс явлений открыл инженер Анри-Филибер-Гаспар Дарси (1803–1858), занимаясь строительством водных систем в городе Дижон (Франция), он заметил, что пропускная способность труб и каналов, по которым течет вода, зависит от гладкости их стенок. Тогда он начал пропускать воду через трубы, заполняемые гравием, песком и т. п., и так выяснил основные законы проницаемости пористых сред при протекании (фильтрации) жидкости через них. Законы Дарси стали основой расчета движения грунтовых вод, а затем газа и газо-нефтяных смесей в породах и технологических устройствах. Проницаемость различных пород и слоев измеряется в единицах дарси.

очень высокой скорости плавания дельфинов: иногда предполагается, что у них в коже есть такие мускулы, которые создают колебания кожи, препятствующие образованию вихрей, а следовательно и лишним потерь энергии, добавочного сопротивления воды. А недавно (в 2010 г.) предложен такой способ борьбы с турбулентностью: навстречу потоку направляется второй поток с вращением в противоположную сторону — они гасят друг друга.)

Особого рассмотрения требуют явления сверхзвуковых скоростей: при скоростях движущихся тел, превышающих скорость звука. Такое превышение означает, что молекулы воздуха не будут успевать разлетаться перед летящим снарядом или самолетом, т. е. создадут перед ним плотную «воздушную подушку». Следовательно передняя часть аппаратов, движущихся со сверхзвуковыми скоростями, должна быть

не обтекаемой формы, а иметь возможность «разрезать» эти более плотные образования, откидывать их в стороны. Первые исследования сверхзвуковых волн провел с помощью скоростной фотографии Эрнст Мах (1838–1916), поэтому скорость звука в воздухе называют числом Маха (около 1200 км/час) и говорят, что скорость ракеты равна, например, 2М.

Однако сверхзвуковые или ударные волны образуют не только летящие тела. Самый простой пример — это волны, образующиеся при всевозможных взрывах. Изучение ударных волн весьма далеко от завершения и представляет большие трудности, особенно если учитывать, что в такой волне возникают магнитные и электрические поля, возможно резкое повышение температуры, могут происходить различные химические реакции, ионизоваться атомы и молекулы и т. д. (Огромный вклад в изучение этих явлений внес Я. Б. Зельдович, но о нем — ниже⁹.)

⁹ См.: Перельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел II. Главы 2–4.

4. Эффекты вращения

Ньютон в своей основополагающей книге по механике не пользуется производными и интегралами, которые сам же и изобрел. Происходило это, по-видимому, потому, что он не хотел усугублять трудности читателей, которые привыкли к значительно более громоздким, но привычным геометрическим методам доказательств. Можно думать, что по той же причине он в основном ограничивается в своей книге прямолинейным движением, хотя уже тогда можно было доказать, что законы вращения, если рассматривать материальную точку, формально очень близки к законам прямолинейного движения; но если рассматривать не точку, а вращение протяженного тела, то нужно учитывать, на каком расстоянии от будущей оси вращения действует сила (ясно ведь, что если линия силы проходит через ось вращения, то эта сила не может повернуть тело). Поэтому для случая вращения вместо силы нужно рассматривать момент силы, т. е. произведение действующей силы на плечо, кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси, вокруг которой тело может вращаться. А сохранение момента силы легко приводит ко Второму закону Кеплера.

Если же рассматривать вращение, например, тяжелого волчка, то нужно учесть, что разные точки тела находятся на разных расстояниях от оси, и поэтому моменты сил для них различны. Помимо того возникают осложнения такого вида: если запустить волчок так, чтобы его ось оставалась строго вертикальной (кончик оси волчка, например, вращается в маленьком углублении и не скользит по поверхности), но после этого слегка толкнуть его верхушку в одном или, лучше, в двух направлениях — под углом друг к другу, то помимо вращения волчка вокруг оси его вершина начинает колебаться (совершать нутации) и описывать некоторую сложную кривую. Таким образом можно заставить волчок участвовать одновременно в нескольких вращениях, сложение которых приводит к весьма замысловатым фигурам.

Но ведь этот класс явлений относится не только к игрушкам. Так, Земля в целом вращается вокруг своей оси, но кроме того она вращается вокруг Солнца и, вместе с Луной, вокруг их общего центра тяжести — таким образом, Земля участвует сразу в трех вращениях. А ведь кроме того нужно учесть, что Земля далека от идеально твердого тела, некоторые массы в ее недрах и на поверхности могут перемещаться — с приливами, с ветрами, с течениями...

Расчеты таких движений можно проводить лишь методами высшей математики. Первыми за них взялись великие математики Даниил Бернулли и Леонард Эйлер, но исследования затянулись весьма надолго, и даже книга «Теория волчка» Феликса Клейна и Арнольда

Леонард Эйлер (1707–1783), швейцарец, проживший и проработавший 32 года в Петербурге, написал за свою жизнь около 850 научных работ (опубликовано было около 550), в том числе целый ряд книг по математике, механике, астрономии, физике, а также по морской навигации и баллистике. Эйлер является основоположником целого ряда новых направлений в математике; с 1909 г. в Швейцарии и России совместно издается полное собрание его трудов, рассчитанное на 72 тома и до сих пор не завершенное.

Зоммерфельда, вышедшая в 1910–1923 гг. в четырех томах, далеко не исчерпала всех возможностей.

Наиболее наглядны и практически важны особенности вращения, связанные вот с чем. При рассмотрении законов Ньютона предполагается, что человек, их наблюдающий, сам ни в каких движениях (кроме равномерного прямоли-

нейного) не участвует, находится в покое. Именно к такой системе применим Первый закон Ньютона, закон инерции, и такая система называется инерциальной. Однако при рассмотрении многих явлений приходится учитывать то, что они происходят на Земле, которая вращается, по крайней мере вокруг своей оси. Такая система называется неинерциальной, и во многих случаях оказывается необходимым учитывать связанные с этим вращением эффекты.

Самым, вероятно, издавна заметным из этих эффектов должен был бы стать такой. Во всех реках, текущих в Северном полушарии по направлению к экватору, правый берег крутой, т. е. он размывается течением, а левый — пологий, на нем откладываются осадки (Волга, Днепр, Дон), в Южном полушарии — наоборот; а у рек, текущих преимущественно в широтном направлении (Амазонка, Хуанхэ, Дунай, Кура), размывтые и неразмывтые части берегов встречаются с обеих сторон в зависимости от пород, через которые протекает река. Это явление называется законом Бэра и было установлено, без объяснения, еще в 1857 г. (автор его — известный физиолог К. М. Бэр) и как-то не привлекало к себе особого внимания, пока в 1926 г. А. Эйнштейн не написал маленькую популярную статью с его объяснением (имеется русский перевод в IV томе собрания его сочинений).

А дело вот в чем. Каждое тело на поверхности Земли, вращаясь вместе с ней, обладает составляющей скорости по направлению этого вращения. Составляющая эта равна нулю на полюсах и максимальна для тел на экваторе, т. е. она должна нарастать (смотрим на глобус!) при «спуске» с Северного полюса к экватору. Но у частиц воды в реке, которые «спускаются» так вниз, скорость меньше, чем нужна на их новом месте, поэтому они отстают от частиц берега, движущихся с запада на восток, и ударяют в западный берег русла реки. Таким образом, закон Бэра — это типичный инерционный эффект.

Но гораздо раньше такие эффекты были выявлены в артиллерии: при стрельбе в северном или южном направлениях снаряды уклонялись

от вертикальной плоскости пушка — направление на цель в разные стороны, а при направлении стрельбы в широтном направлении таких отклонений не было. Поэтому исследования таких эффектов щедро оплачивались военными: нужно ведь рассчитать отклонения в зависимости от географического расположения пушки, угла вылета снаряда относительно меридиана, скорости, дальности полета.

Таким вот образом была установлена, помимо пары импульс и сила, еще одна пара физических величин, которая описывает эффекты вращения: момент силы и момент импульса. Особенную важность эта вторая пара приобрела в астрономии.

С понятиями инерциальных и неинерциальных систем связан знаменитый опыт Ж. Б. Л. Фуко (1819—1868). В 1851 г. он первым догадался провести такую простую демонстрацию: если подвесить на длинной нити груз и заставить его колебаться в какой-то плоскости, то, поскольку направление силы веса этого груза не меняется при вращении Земли (всегда направлено к ее центру), плоскость колебаний маятника должна сохранять свое направление относительно «сферы неподвижных звезд» и поэтому поворачиваться в обратную сторону относительно вращения Земли.

Опыт этот произвел громадное впечатление на широкую публику и как бы подтвердил для нее наглядно геоцентрическую модель Коперника. Любопытно заметить, что такой простой опыт мог вполне быть проведен на два столетия раньше, но — никто не догадался!

Больше всего денег на свои исследования ученые, как правило, получали и получают от военных, которым эти разработки были или казались нужными. Ну а ученые вынуждены были заниматься такими исследованиями: так, автор известных учебников по высшей математике Р. О. Кузьмин на своих лекциях (первая половина XX в.) любил повторять: «Этот интеграл взять нельзя, но, если военное ведомство прикажет, мы его возьмем!» Военные, в особенности артиллеристы, и сами пробовали разобраться в проблемах баллистики. Любопытно отметить, что Наполеон Бонапарт в молодости занимался наукой: он написал две статьи по механике движения снаряда в стволе орудия в момент выстрела и был избран во Французскую академию еще до прихода к власти (в конце жизни, на острове Святой Елены, он очень сожалел, что его научная карьера прервалась).

Происхождение Солнечной системы

*Некогда это было парадоксом,
но наш век это доказывает.*

У. Шекспир. Гамлет

Ньютон, человек глубоко верующий, принимал, по-видимому, что происхождение Солнца и планет вокруг него описано без подробностей, но достаточно авторитетно и полно в Библии: материя из первоначального хаотического облака устремилась под действием Всемирного притяжения к центру, к Солнцу, а затем ангелы, по воле Господа, каждую планету толкнули, придав ей круговое движение. Далее планеты закрутились, как колесики в часах, по орбитам, предписанным Законом Всемирного тяготения, и так и продолжают крутиться по правилам, выявленным Кеплером и объясненным Ньютоном — часовой механизм действует безотказно. А Ньютон, повторим, избрал себе девиз: «Гипотез не измышляю», — и вопрос происхождения Солнечной системы в печати не рассматривал.

Первой яркой демонстрацией правильности описания планетной системы по Кеплеру—Ньютону было очередное появление в 1758 г. кометы Галлея. Появление это было предсказано Эдмондом Галлеем (1656—1742), который сумел рассчитать ее орбиту и показал, что кометы 1531, 1607 и 1682 гг. — одно и то же тело. С тех пор и по настоящее время комета Галлея регулярно появляется примерно каждые 75 лет. Еще более убедительным для всего мира доказательством победы космологии Ньютона было открытие в 1846 г. планеты Нептун, обнаруженной точно на месте, рассчитанном У. Лаверье: тогда говорили, что она найдена «на кончике пера», и ее открытие долго популяризировалось как величайшее достижение человеческого гения.

До того возникло, было, сомнение в универсальности законов Кеплера. По наблюдениям в Парижской обсерватории, получалась какая-то несурaziца со спутниками Юпитера: их регулярные затмения запаздывали почти на 22 минуты при наибольшем расстоянии между Землей и Юпитером по сравнению со временем наступления

затмений при наименьшем расстоянии между ними. Означает ли это нарушение законов Кеплера?

Загадку разрешил О. К. Ремер (1644—1710): он предположил, что скорость света конечна и эти 22 минуты (точнее, 16 мин) нужны для прохождения светом расстояния, равного диаметру земной орбиты. Его предположение было сперва встречено в штыки, но новые более тщательные наблюдения подтвердили, что таким образом можно спасти универсальность законов Кеплера. (В будущем, как мы увидим, повышение точности измерений скорости света привело в XX в. к революции в физике.)

Всеобщая вера в правильность гелиоцентрической модели и ее описания по Кеплеру—Ньютону требовала решения вопроса о происхождении Солнечной системы на какой-то иной, небиблейской основе. Первым, по-видимому, на это решился Рене Декарт, в 1644 г. предположивший, что вся Солнечная система образовалась из первичной пылевой или газовой туманности, имевшей форму диска (это монистическая теория, т. е. принимается, что вся система образовалась одновременно). В 1745 г. Ж. Л. Л. Бюффон (1707—1788), естествоиспытатель и писатель, постарался в своей громадной «Естественной истории» (36 томов!) описать и объяснить все наблюдаемые в мире явления. Он выдвигает дуалистическую модель: в ранее возникшее Солнце врезается комета и от него, вследствие удара, отрываются какие-то части, из которых формируются планеты.

В это же примерно время, в 1755 г., великий философ Иммануил Кант (1724—1804) предлагает такую космогоническую гипотезу: вся солнечная система возникла из облака газа. Частицы газа сталкивались друг с другом, соединялись и уплотнялись, это привело как к возникновению центрального светила — Солнца, так и к последующей фрагментации остатков газа, их объединению в планеты (Канту принадлежат гордые слова: «Дайте мне материю и я построю из нее мир»).

Лапласу принадлежит знаменитое утверждение: если задать положение и скорости всех тел в какой-то момент времени, то законы механики позволят рассчитать все их будущее — эту позицию называют лапласовским детерминизмом. По-видимому, сам Лаплас думал при этом лишь о нескольких телах (и при том неизменных), например, о Солнце и планетах. Но и для такого их числа задача по сей день оказалась практически невыполнимой. Для большого же количества тел (например, молекул в объеме газа), пришлось развить вероятностный подход, в основании которого, кстати, лежит огромный вклад и самого Лапласа.

На современников огромное впечатление произвела возможность перерасчета лунных затмений: Так, древнегреческий историк Фукидид писал, что экспедиция войск Афин против города Сиракуз в 413 г. до н. э. провалилась потому, что была задержана и-за лунного затмения, предвещавшего беду. Историки долго посмеивались над этим сообщением, однако расчеты показали, что действительно оно произошло в том году. Таким образом, возник новый метод проверки исторических сообщений с помощью... астрономии.

Лаплас убежден во всеилии математики: когда после своего переворота 1799 г. Наполеон Бонапарт, считавший себя учеником Лапласа, назначает его министром внутренних дел, то Лаплас разрабатывает руководство для судей по применению теории вероятностей при рассмотрении запутанных дел (уже через три месяца математика пришлось переводить на другую работу — думается, что и сейчас схожая попытка кончилась бы так же).

Однако Кант не мог провести никаких расчетов, которые могли бы подтвердить и уточнить его гипотезу, и ее надолго забыли.

Независимо от Канта схожую небулярную (от латинского «небула» — туманность) гипотезу выдвигает в 1796 г. великий математик и механик Пьер Лаплас (1749—1827) в книге «Изложение системы мира».

Небулярную гипотезу, однако, ничто не мешало разрабатывать строго математически, и когда император Наполеон спросил у Лапласа (император пожаловал ему сначала титул графа, а затем маркиза), почему в его многотомном «Трактате о небесной механике» нигде

Важно отметить, что как теория Канта—Лапласа, так и все последующие не смогли ответить на один важнейший вопрос: почти вся масса Солнечной системы сосредоточена в самом Солнце, а вот большая часть момента вращения приходится на планеты. Между тем их совместное образование должно было бы распределить этот момент пропорционально величинам масс. Эта проблема до настоящего времени остается чуть ли не самой болезненной в механике Солнечной системы.

не упоминается Бог, Лаплас ответил: «Сир, я в этой гипотезе не нуждаюсь»

Развитие физики в XX в. выявило еще одну проблему: по всем расчетам Солнце существует около 10 млрд лет, а Земля — от 4 до 5 млрд лет. Следовательно, они не могли образоваться одновременно, из единого облака. Нужны новые модели.

Физик и популяризатор Дж. Х. Джинс (1877—1946) предложил приливную модель: мимо Солнца проходит некое массивное тело и возникающая приливная волна вырывает из него «язык» вещества, распадающийся затем на планеты. Но при этом, как говорилось, основная часть энергии вращения должна была бы содержаться в Солнце, чего нет.

Математик и исследователь Арктики Отто Юльевич Шмидт (1891—1956) выдвинул в 1944 г. так называемую метеоритную теорию происхождения планет: ранее образовавшееся Солнце проходило через газо-пылевое облако и захватило его. Первоначально в облаке, где и так могли присутствовать довольно крупные тела-метеориты, происходило объединение этих тел, налипание на них газа и пылинок. Затем такие планетезимали («планетки») стали объединяться.

Эта модель может объяснить и строение колец Сатурна, открытых Галилеем еще в начале XVII в. и представляющих удивительное зрелище: планета кажется окруженной тремя сплошными концентрическими кольцами, состоящими из вещества неизвестной природы. Лаплас доказал, что они не могут быть твердыми — иначе бы силы притяжения

их разорвали. Проведя сложный математический анализ, Максвелл убедился, что они не могут быть и жидкими, и пришел к заключению, что подобная структура может быть устойчивой только в том случае, если состоит из роя не связанных между собой метеоритов: устойчивость колец обеспечивается их притяжением к Сатурну и взаимным движением планеты и метеоритов. (В XX в. схожие, но более тонкие кольца обнаружены и у Юпитера: по-видимому, они все сформировались из той части первичных облаков, которая не успела войти в состав самой планеты, а из-за ее притяжения не могла и уйти от нее.)

Знаменитый физик Ханнес Альфвен (1908—1996, Нобелевская премия 1970), создатель магнетогидродинамики, учел роль электромагнитных сил и предложил в 1975 г., совместно со своим учеником Г. Аррениусом, новую модель возникновения планетарной системы из облака типа облаков Шмидта. В этой модели наибольшую роль играют уже магнитные поля, которые ранее всеми игнорировались, а также межатомные, межмолекулярные процессы¹⁰. Теория Альфвена—Аррениуса предсказывает, в частности, определенный химический состав разных планет и поэтому может быть экспериментально проверена при достижении этих планет, однако пока еще рано говорить о завершении модели Солнечной системы.

Основная трудность разработки таких моделей заключается вот в чем. Физики привыкли иметь дело с повторяющимися явлениями: если что-то недосмотрели или если надо изменить начальные условия, то опыт можно повторить, перепроверить. А тут, видите ли, мы имеем дело с единичным, невоспроизводимым явлением — вот если можно будет (думается, что это дело не столь далекого будущего) детально сравнить нашу планетную систему с системами вокруг других звезд, то проблему решить будет легче! (Заметим, и поговорим об этом позже¹¹, что еще много сложнее положение с общей Космогонией: с чем сравнивать процесс рождения Вселенной?)

¹⁰ Нам удалось показать, что при этом нужно учитывать и так называемые скрытые теплоты конденсации веществ.

¹¹ См.: *Перельман М. Е.* От кванта до темной материи. Раздел IV. Глава 2.

Смена веx

Мы почти не упоминали о роли философов в развитии физики, между тем, она была значительна. И тут в первую очередь надо вспомнить Ф. Бэкона с провозглашением физики «матерью всех наук» и с его девизом «Знание — сила» (оригинал «*scientia potentia est*» — многозначней, так как говорит о возможностях науки). Эксперименты Бэкон называл «допросом, учиненным природе», и считал, что только так приобретается истинное знание — последователей Бэкона принято называть эмпиристами (от греческого «эмпейриа» — опыт). Именно Бэкон в «Новой Атлантиде» рекомендовал планомерную организацию условий научных исследований: следуя его идеям в Англии начало формироваться научное сообщество, а во Франции — издаваться знаменитая «Энциклопедия».

Фрэнсис Бэкон (1561–1626) долгие годы был лордом-канцлером Англии при короле Якове I. Обвиненный в коррупции, Бэкон удалился в свое имение и за очень короткий срок написал гениальные философские труды, в том числе утопию «Новая Атлантида». Ряд историков считает, что он является истинным автором произведений, изданных под именем Шекспира. По иронии судьбы, взгляды и творения Ф. Бэкона во многом продолжают мысли его однофамильца монаха Роджера Бэкона (1214–1292), математика, естествоиспытателя и философа, которому приписывают, в частности, изобретение пороха.

В следующих поколениях Рене Декарт, а позже и Лейбниц считали, что физику, как и математику, нужно строить на аксиоматической основе, т. е. выдвигать некие основные положения и проверять на опыте их следствия — приверженцев такой методологии называли рационалистами (латинское «рационализ» — разумное).

Физики не могли полностью присоединиться ни к одному из этих альтернативных течений. Так, Х. Пойгенс пишет: «В физике не бывает точных доказательств, и первопричины можно узнать только по их следствиям». А в другом месте он добавляет, что каждое подтверждение укрепляет положение выдвинутой гипотезы, но не доказывает окончательно ее истинность — это именно тот принцип, который принят современной наукой.

Ньютон, казалось, примыкает к аксиоматическому направлению. С изданием в 1687 г. «Математических начал натуральной философии» он завершил создание основ классической механики. Это, конечно, не означало конца механики как науки: Ньютон совершенно

не затрагивал проблем механики сплошной среды, механики жидкости, газа, пористых сред и т. д. Да и в рассмотренной им механике точечных тел до конца была решена лишь проблема движения двух тел (выведены законы Кеплера). Даже задача трех тел (например, полное рассмотрение движений системы Солнце, Земля и Луна) до сих пор не решена в полном объеме — есть некоторые частные решения и разработаны различные приближенные методы, так что численные решения нужной степени точности после появления мощных компьютеров вполне доступны. Далее оказалось, что и основные уравнения теории можно формулировать по-разному, поэтому Эйлер, Бернулли, Лагранж, Лаплас, Гаусс, Гамильтон, Якоби, Герц и многие другие внесли огромный вклад в развитие механики. Работы в этой области продолжаютсЯ и поныне, но — и это необходимо подчеркнуть — общее мировоззрение механики (ее парадигма) осталось таким, каким его создал и изложил в своей книге Ньютон.

Однако в оптике его подход уже иной и в этом плане менее значителен: здесь еще не накоплено такое количество фактов, которое позволило бы замахиваться на общую теорию. Наиболее плодотворная для того времени волновая теория Гюйгенса не была принята Ньютоном и, под его влиянием, многими физиками — было как будто две оптики: континентальная и британская.

«Но, — как писал Эйнштейн, — только Ньютону удалось найти основу для логического и математического обоснования явлений, подтверждаемых опытом. Можно было рассчитывать, что из основ ньютоновской механики с течением времени будут выведены все явления. Так думали ученики Ньютона (они были в этом уверены больше, чем их учитель) и его последователи вплоть до конца XVIII в.»

Наименее определенным было положение в области электричества: несколько разрозненных наблюдений — и никакого сходства с механикой. Ньютон провел один-два опыта с электричеством, но далее эту область исследований как будто и не замечал. Но отсюда следует,

В популярной литературе некогда было завелено давать векам особые названия по наиболее характерным тенденциям их развития: был Веж Великих географических открытий, Веж Реформации, XVIII в. называли Веком Просвещения, а XIX — Веком пара и электричества¹², к которым мы и подошли, но сперва немного о предыстории.

что такая совершенно неисследованная область, *terra incognita*, может таить в себе наибольшее число открытий, на первый взгляд кажущихся не очень значительными, несущественными, но которые затем

¹² В 1960–1970 гг. начали уже придумывать название для XX в. Наибольшее одобрение тогда вызвало такое: «Веж атома, презерватива и футбола». Не придется ли называть XXI в. «Веком интернета и террора»?

Наука как производительная сила далеко не всеми понимается. Рассказывают, что как-то, в 1970-х гг., многолетний министр финансов СССР В. Ф. Гарбузов, обеспокоенный «непомерными» запросами ученых, спросил во время какого-то приема видного физика Л. А. Арцимовича: «Все же, что такое наука?» Язвительный Арцимович ответил, что наука — это способ удовлетворения собственного любопытства за счет государства. На следующий же день комиссия минфина явилась в ФИАН (Физический институт АН СССР, где работали тогда пять нобелевских лауреатов) с проверкой посещаемости, основного, по их мнению, критерия честной работы: подозрения Гарбузова оправдались — далеко не все сотрудники оказались на месте в рабочее время, а нобелевский лауреат И. Е. Тамм играл с кем то в шахматы! Сутью работы никто из проверяющих не интересовался и скандал удалось замять не без труда.

могут привести к новым взглядам на мир и повлиять на всю жизнь общества.

Начало этих исследований и общие изменения в жизни общества позволяют историкам науки утверждать, что вслед за Первой научной революцией XVII в., наиболее ярко проявившейся в творчестве Галилея и Ньютона, к началу XIX в. наступает пора Второй научной революции. И если ранее наука являлась, за малым исключением (орудия Архимеда, часы Гюйгенса), источником лишь чистого знания, то теперь она начинает становиться производитель-

ной силой. Первое такое ее проявление — мобилизация ученых на обслуживание государственных задач во времена Французской революции 1789—1794 гг. и последующих войн. Наука выходит в сферу производства и рождается новая область деятельности, постепенно объединяющая ученых и практиков, — технология. Больше всего такому объединению способствовали успехи химии, а затем достижения физики — теплотехники и электротехники.

Электризация

1. Первые исследователи

Следующим после Гильберта физиком, занявшимся электризацией, был Герике. Здесь опять же проявился его изобретательский стиль мышления: вместо того, чтобы натирать кусочек какого-нибудь вещества, он догадался соорудить специальное устройство — шар из серы величиной «в детскую голову» насаживается на ось и вращается, натираясь при этом просто рукой экспериментатора. Так Герике получает намного большие заряды и даже показывает, что они передаются по льняной нитке на расстояние «больше локтя», а наэлектризованный шар некоторое время слабо светится в темноте.

Несколько более систематические опыты с электричеством проводил Ф. Гауксби (1666—1713). Он делал шары, как и Герике, но из разных материалов и в конце концов остановился на стеклянном, что существенно облегчило всю работу (шар по прежнему натирался рукой) и позволило получать еще большие заряды. Он уже наблюдал искры длиной в дюйм и такое свечение наэлектризованного шара, «при котором можно читать».

Еще больших успехов добились С. Грей (1666—1736) и Ш. Ф. Дюфэ (1698—1739). Грей установил, что электричество передается не всеми телами: в его опытах оно проходило по льняной нити и по металлической проволоке, но не проходило по шелковинке, поэтому он смог, подвешивая тела на шелковых нитях, надолго сохранять их электризацию. Таким образом он открыл явление электропроводности и наметил разделение всех тел на проводники и непроводники (изоляторы). А сравнивая электризацию массивного и такого же, но полого деревянного кубика, он убедился, что они электризуются одинаково, т. е. показал, что все заряды сосредотачиваются на поверхности.

Дюфэ достиг наибольшей известности как ботаник, но в те три-четыре года, когда он занимался опытами с электричеством, он перепроверил и несколько уточнил выводы Грея, доказал (это было совсем не очевидно), что электризация не зависит от цвета предметов.

Но главные его достижения — это выделение двух типов электричества, стеклянного и смоляного (1733), первые, как будто, наблюдения того, что одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются (этот принципиальный факт потом не раз переоткрывался). Еще он показал, что если к заряженному телу подносить нейтральное, то оно сперва притягивается, а после соприкосновения начинает отталкиваться (явление электростатической индукции, но его еще надо было объяснить). Дюфэ также провел впечатляющую демонстрацию электрических явлений: человека подвешивали на шелковых шнурах, заряжали с помощью льняной нити от вращающегося и натираемого стеклянного шара, а затем из его тела извлекали длинные искры!

О электростатической машине вспомнил через двести лет Роберт Ван де Грааф (1901–1967) — он догадался, что для накопления зарядов их нужно просто вводить внутрь шара, а оттуда они сами перейдут на его поверхность. Генератор Ван де Граафа устроен так: заряды, получаемые трением на обычной электростатической машине, переносятся на транспортер, непрерывно движущуюся шелковую ленту, которая заходит через изолированное отверстие внутрь большого металлического шара; там ее касается проводник, щетка, соединенная с поверхностью; все заряды выходят на поверхность шара и там накапливаются. К 1931 г. Ван де Граф построил такой генератор с шарами диаметром в 4,5 м, которые давали напряжение более миллиона вольт и еще долго использовались в ядерной физике. Авторы этого поразительно остроумного ускорителя, или электростатического аккумулятора, гордились тем, что «полная стоимость материалов, пошедших на его изготовление, равнялась приблизительно 100 долларам» (современные ускорители обходятся в десятки миллиардов долларов).

Далее усилиями многих людей электрическую (точнее, электростатическую) машину удалось усовершенствовать: оказалось, что совсем не обязательно натирать шар рукой — для этого можно приспособить подушечки, прижимаемые к шарам; затем выяснилось, что заряды от шара удобнее отводить металлическими трубками (позднее — проволокой), особенно если подвешивать эти проводники на шелковых нитях.

Но вернемся пока что назад. Уже после первых опытов с зарядами встал вопрос: как их сохранять? После опытов Грея

было ясно, что заряды на проводнике надо как-то изолировать от других тел. Но в каком проводнике их можно накопить, как осуществить такое устройство?

Эту задачу случайно решил Питер ван Мушенбрук (1692–1761) из Лейдена: он подводил электричество к гвоздю, опущенному в стеклянную банку с водой, которая и должна была сохранять заряды. Но когда кто-то из присутствующих дотронулся до банки, то получил сильнейший удар; извещение мгновенно распространилось по Европе, и повсюду стали проводиться опыты, иногда весьма опасные, с «лейденскими банками» (сам Мушенбрук, испытавший такой удар, заявил, что не согласится на повторение даже за французскую корону).

Опыты и усовершенствования проводились множеством людей. Вскоре было замечено, что величина заряда не зависит от того, какая жидкость налита внутрь, ее можно даже заменить насыпанной дробью и, в конце концов, жидкость вообще можно изъять, а внутреннюю поверхность обклеить тонкими листами металла, станиолом. Но еще

С усовершенствованием электрических машин и, особенно, лейденских банок опыты с ними становились светским развлечением: люди, взявшись за руки, образовывали цепочку, через которую банки (или уже батареи банок) разряжались, и каждый испытывал какой-то удар, разнообразный, по-видимому, тогдашний неторопливый ритм жизни. Цепочка могла прерываться каким-нибудь проводником, и таким образом выяснялись его свойства, цепочку проводили на большие длины, например, через Темзу и т. д.

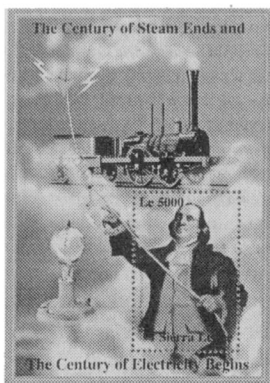
до того металлом, а позднее станиолом стали покрывать наружную сторону — конструкция лейденской банки была завершена.

Наиболее интересные исследования выполнил в те годы в Париже аббат Жан-Антуан Нолле (1700—1770): он провел электричество через цепочку в 180 человек. Но кроме этих демонстраций он открыл очень важную особенность зарядов — они скорее стекали с острия, чем с тупых предметов. Нолле понял, что электричество получается не от трения, а переходит от натирающей подушечки и следовательно, от соединенной с ней земли. Он также усовершенствовал, фактически изобрел электроскоп: это стеклянная банка, через пробку которой внутрь проведен металлический штырь, на наружном его конце есть металлический шарик, а на внутреннем укреплены две легкие бумажные полоски. Когда верхний шарик заряжается, то заряды текут вниз и полоски, заряжаясь одноименно, расходятся на угол, зависящий от величины заряда, что уже допускает его измерения.

Отметим также, что Нолле первым стал изучать воздействие электричества на растения и животных, в частности пытался применять его в медицине. Помимо исследований по электричеству Нолле открыл целый класс новых явлений: если разделить сосуд перегородкой из свиного пузыря, одну сторону заполнить водой, а другую чистым спиртом, то через некоторое время окажется, что вода проходит через перегородку к спирту, а спирт в обратную сторону пройти не может — перегородка является полупроницаемой. Это явление, названное осмосом, играет, как много позже выяснилось, громадную роль во всех жизненных процессах и используется во многих приемах химической технологии.

2. Бенджамин Франклин

Большой вклад в исследования электрических явлений внес Бенджамин Франклин (1706—1790), физик, философ, дипломат, один из «отцов-основателей» Соединенных Штатов (поэтому его портрет украшает



100-долларовую купюру) — человек, прославившийся своими заслугами в самых разных областях деятельности. Его эпитафией послужил латинский стих, который можно перевести как «Вырвал у богов молнию, а у тиранов — скипетр».

Франклин всего два года учился в школе и все знания приобрел самостоятельно, начав с работы учеником в типографии и книжной лавке. По этой ли причине или нет, но он был человеком с абсолютно свободным мышлением, старался дойти до всего своим умом, подвергая плоды размышлений проверке опытом. Так, с самого начала электрических ис-

следований он задумался над тем, почему это все сохраняют заряды обязательно в банке: она ведь пустая. Поэтому он берет лист стекла, прижимает с двух сторон металлические пластины и показывает, что такое устройство, фактически, современный плоский конденсатор, ничуть не хуже — более того, эти конденсаторы много легче изготовлять, собирать в батареи и т. д.

Но главное, Франклин понял механизм зарядки всех таких устройств: он принимал, что существует только один «сорт» электричества (унитарная теория), какая-то невесомая сущность. Два его наблюдаемых типа, смоляное и стеклянное, он обозначил как избыток или недостаток этого электричества, как «плюс и минус», а поэтому появление зарядов одного знака на обкладке конденсатора вызывает утеkanie в землю таких же зарядов (этой «сущности») с другой обкладки и ведет к тому, что конденсатор в целом заряжается. Это утверждение он доказывал серией простых, но убедительных опытов и, в частности, тем, что знак заряда на каждой из обкладок можно менять. (Обозначения Франклина сохранились по настоящее время, хотя давно известно, что существует именно два типа зарядов.)

Наука интересовала Франклина прежде всего своими практическими применениями (он больше всего гордился изобретенными им экономичными печами). Поэтому он, возможно и не зная предположения Грея об электрическом характере молнии, решил, что поскольку ее действие похоже на разряд конденсатора, то можно получать электрические заряды из облаков. Отсюда возникла идея громоотвода (точнее было бы «молниеотвод», 1750), которую он публично доказал через три года с помощью воздушного змея: от змея, запущенного в грозовое облако, заряд по проводящей веревке дошел вниз — Франклин

предусмотрительно держал веревку через привязанный шелковый шнурок — и дал электрическую искру от металлического ключа на конце веревки в землю.

Поэтому он тут же предлагает сооружать на этой основе громоотводы, причем замечает, что концы их должны быть заострены для лучшего стекания зарядов, накопившихся в Земле. Практическая ценность громоотводов была довольно быстро понята, и они широко распространились. (Опыты с извлечением зарядов из облаков привели к одной из первых жертв среди физиков: искрой из неудачно устроенного разрядника в 1753 г. в Петербурге был убит профессор Г. В. Рихман.)

Любопытно описать еще одно наблюдение Франклина: однажды он пролил немного масла у поверхности бассейна и вдруг заметил, что легкая рябь, пробегавшая по воде, успокоилась. Он, конечно, стал лить масло уже прямо в воду и убедился в том, что эта тончайшая пленка действительно замедляет колебания поверхности. Так были открыты силы поверхностного натяжения, а моряки получили неоднократно описанный в романах метод кратковременного уменьшения высоты волн.

Воззрения Франклина, в особенности его унитарная теория электричества, вызвали возражения многих современников. Опишем одно из них, принадлежащее Р. Симмеру (1759). Симмер, по его собственным словам, пришел к своей теории так: по моде того времени, он носил на ногах две пары шелковых чулок, черные и белые, одну поверх другой, и вот, снимая их поодиночке, он заметил, что чулки сильно наэлектризованы, причем чулки одного и того же цвета сильно отталкиваются, а разного цвета — притягиваются. Поэтому он допустил, что во всех нейтральных телах содержится равное число зарядов обоих типов, а электризация означает удаление из тела или добавление в него зарядов только одного типа (дуальная теория). Разряд, согласно Симмеру, представляет собой движения обоих типов зарядов, и именно

К сожалению для науки, Франклин, самый знаменитый человек своей страны, в дальнейшем все время уделял политике: был представителем Штатов в Лондоне, послом во Франции, принимал участие в составлении «Декларации независимости» и действующей до сих пор Конституции, основал Пенсильванский университет, заседал в Конгрессе и т. д.

Устройства громоотводного типа применялись, по-видимому неосознанно, уже в древности. Так, известно, что Иерусалимский храм, построенный царем Соломоном в X в. до н. э. на возвышении и простоявший много столетий, многократно подвергался ударам молнии, но ни разу не загорелся, хотя и был в основном деревянным. Объяснить эту его особенность, подчеркиваемую историками, можно лишь тем, что крыша храма была позолочена, т. е. металлизирована, и на ней, чтобы отпугивать птиц, были установлены многочисленные острия, а для сбора дефицитной дождевой воды с нее спускались бронзовые трубы, уходящие под землю в водосборники и поэтому одновременно являвшиеся заземлением, громоотводами.

Рассказывают, что явление, описанное Саммером, оказалось однажды в 50–60-х гг. XX в. предметом серьезного детективного расследования. В Лондоне, в некоей очень закрытой лаборатории, где велись какие-то военные исследования, начали происходить странные вещи: самые точные электронные приборы к 12, а затем к 3 часам пополудни вдруг начинали беспричинно врать, но потом сами по себе приходили в норму. Поиски скрытых коммунистов («холодная война»!) или других агентов ни к чему не приводили. Так продолжалось до Рождества, когда оставшиеся на работе сотрудники заметили, что безобразия неожиданно прекратились. Этот факт и новое начало нарушений работы приборов с концом школьных каникул дали ключ к разгадке: в расположенном неподалеку женском пансионе воспитанниц снабдили модным нижним бельем из синтетической ткани, так что когда они раздевались, готовясь к дневному сну, и затем вновь одевались, накопленное статическое электричество разряжалось и, как ему полагается, излучало радиоволны.

поэтому при прохождении разряда через бумагу края отверстия остаются загнутыми в обе стороны. При этом в дуальной теории нет необходимости, как в унитарной теории Франклина, рассматривать силы отталкивания между частицами материи. Проблема отталкивания представлялась особенно сложной, так как в ньютоновской теории Всемирного тяготения, как подозревали тогда, чем-то схожего со взаимодействием зарядов, фигурировало только притяжение.

Ну а совсем запутали физиков новые наблюдения. Во-первых, в 1703 г. с острова Цейлон

были привезены кристаллы драгоценного минерала турмалина, и оказалось, что при нагревании кристалла с одного края он электризуется — и притом безо всякого трения; объяснения этого эффекта пришлось ждать почти два века. Во-вторых, А. Вольта, о котором мы будем говорить ниже, обнаружил такое явление: если с заряженного плоского конденсатора Франклина снять металлические обкладки, то стеклянная пластина остается заряженной, причем в обратном направлении, так что можно наложить новые пластины, и конденсатор снова окажется заряженным. На этом эффекте Вольта построил прибор для получения зарядов, который он назвал электрофором.

3. Огюст Кулон

Шарль-Огюстен Кулон (1736–1806) был военным инженером, строил, по долгу службы, мосты, в частности подвесные, должен был конструировать и строить повозки. Поэтому он заинтересовался сравнением



трения скольжения и трения качения. Проведя множество простых, но четких экспериментов, он сформулировал законы трения (почти все работы Кулон проводил там, где вынужденно, по погоде, прерывалась его работа инженера и поэтому он

должен был ограничиваться простейшими приборами). Следующей серией его исследований стало изучение закручивания нитей — металлических, шелковых и др. — в зависимости от материала, формы, величины нагрузок, угла поворота. Выявление всех этих закономерностей позволило ему построить крутильные весы с небывалой до того точностью измерения малых величин сил (1784).

И тут возникла идея, которая его обессмертила: поскольку имеется такой прибор, то можно измерить силу взаимодействия точечных электрических зарядов при изменениях их величин и расстояний между ними (1785). Зависимость оказалась очень простой: как и в случае Закона Всемирного тяготения, сила взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами и прямо пропорциональна произведению их величин — это закон Кулона, основной закон электростатики. Однако — и это принципиальное отличие от случая тяготения — для зарядов существует как притяжение, так и отталкивание.

Далее Кулон перешел к исследованиям магнетизма — его крутильные весы естественно было использовать как магнитометр. Но ведь у каждого магнита есть два полюса: как же измерить взаимодействие отдельных полюсов друг с другом? Кулон поступил очень просто: он намагнитил длинные тонкие спицы, настолько длинные, что если приложить их концами вдоль одной линии, то влиянием дальних концов можно пренебречь или, точнее, беря разные, все большие длины, можно его учесть. Таким образом Кулон смог измерить силу взаимодействия двух как бы отдельных полюсов магнита: зависимости оказались того же типа, что при взаимодействии электрических зарядов — это магнитный закон Кулона, основной закон магнитостатики.

4. Генри Кавендиш

Генри Кавендиш (1731—1810) — одна из самых трагических и странных фигур в истории науки: аристократ, внук двух герцогов, нелюдим, болезненно застенчивый, придирчивый к своим результатам, скрупулезно аккуратный; он совершил множество открытий экстракласса в физике и в химии, но в учебники вошло только одно из них.

Через много лет после смерти ученого его племянник герцог Девонширский попросил своего родственника, гениального Дж. К. Максвелла, просмотреть оставшиеся бумаги. Максвелл затратил на их анализ и проверку два или три года.

Оказалось, что Кавендиш открыл закон Кулона до Кулона — он показал, что электрическое поле внутри заряженной сферы равно нулю, а это означает, что оно убывает обратно пропорционально квадрату

Кавендиш устроил великолепную домашнюю лабораторию, куда никто не допускался, работы свои он с некоторого времени вообще перестал кому-либо показывать, чтобы не ввязываться в споры. Еду к дверям лаборатории приносили слуги, стучали и убегали, одежду и обувь шили без примерок по старой, с отметками о нужных расширениях. Во время редких поездок в Лондон он ходил по мостовой, считал, что лучше столкнуться с лошадьёю, чем со знакомым.

расстояния. Далее он получил для протекания зарядов основные характеристики будущего закона Ома (в отсутствие приборов для измерений токов он мерил их либо по силе удара на себе, либо по интенсивности вскрикивания камердинера, державшего в руках концы проводов), провел первые опыты по электрохимии и т. д.

Помимо того он вывел законы электроемкости и определил диэлектрические восприимчивости ряда веществ. Как писал Максвелл уже в 1870-х гг.: «Его измерения емкости заставили нас попотеть в Кавендишской лаборатории, прежде чем достигли точки, где он остановился».

Рассмотрение бумаг показало, что к тому времени никем не был повторен лишь один опыт Кавендиша — проверка с помощью крутильных весов Закона Всемирного тяготения и вычисление на этой основе гравитационной постоянной. Этот опыт и вошел во все учебники. Родственники Кавендиша открыли в Кембридже, где он некогда учился, лабораторию его имени, которую возглавляют, начиная с Максвелла, самые знаменитые физики Англии.

Электрический ток

1. Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта

Луиджи Гальвани (1737–1798), профессор физиологии в Болонье, готовил для лекционных демонстраций препараты мышц лягушек. Некоторые из них уже сушились на балконе. Вдруг к нему с криком вбежала жена: лягушачьи лапки, покачиваемые ветром, дергаются как у живых лягушек! Профессор выскочил на балкон — лягушачьи лапки дергались, но не все, а те, которые, вися на медных крючках, касались железной проволоки. Так, согласно легенде, было открыто «животное», по определению Гальвани, электричество. В статье самого Гальвани описывается, как эти лапки, лежавшие на столе, дергались, когда их касался кондуктор (проводник) работавшей электростатической машины (1786).



Само это явление не могло казаться очень уж удивительным, так как судороги при ударе током от лейденских банок были известны. Но в результате длительных опытов на протяжении 11 лет, Гальвани установил, что наблюдаемые явления не являются судорогами при прохождении тока от машины или из-за воздействия атмосферного электричества на балконе: ток, в отличие от разряда конденсатора, вырабатывается непрерывно самой мышцей, и поэтому его нужно назвать «животным электричеством».

И вот тут коренилась трагическая ошибка: увлеченный идеей о том, что электричество вырабатывается животной мышцей, Гальвани с самого начала принял, что металлы являются просто проводниками и ничем иным, а применение разных металлов, их соединений диктовалось только их разной проводимостью и удобством опыта. И хотя он заметил, что наибольшую силу токи обретают при соединении двух разных металлов в цепи, и даже описал результаты таких наблюдений,

Так или иначе, возможность существования электрического тока, а не только разрядов первым обнаружил Гальвани, и его имя обессмертили не только гальванические явления в живой природе, но и названные в его честь, хотя и открытые или изобретенные другими, гальванические элементы, гальванометры, гальванопластика и т. д. Для анализа открытых явлений нужен был ученый совершенно другого типа, и он сразу же явился.

но, тем не менее, не придавал им значения. В первой статье 1791 г. Гальвани пишет о том, почему он решил опубликовать описание своих явно незавершенных опытов: «... У меня не хватит на это ни времени, ни досуга, ни умственных сил, я предпочел пользу дела своему естественному желанию».

Алессандро Вольта (1745—1827), профессор университета в Падуе, был к этому времени автором ряда открытий, точнее наблюдений. Он изобрел, как уже говорилось, электрофор, несколько усовершенствовал электроскоп, описал проект электрического телеграфа, исследовал, помимо того, тепловое расширение воздуха, явления диффузии. Но главное дело его жизни, его несколько звездных лет, были впереди.

Узнав об исследованиях Гальвани, он сразу же, в 1792 г., берется за их повторение, но в первых же работах отмечает, что для возникновения «животного электричества» (Вольта пока еще согласен с таким названием) необходимо соединение двух разных металлов. Первые опыты, он ведь не физиолог, Вольта проводит... на собственном языке: две монеты, например оловянная и серебряная, помещались одна на язык, а вторая под язык; когда он соединял их проволочкой, язык начинало щипать или во рту возникал кислый вкус, который сохранялся все время пока монеты были соединены. «Это показывает, что переход электрической материи с одного места на другое происходит непрерывно, таким образом, — подчеркивает Вольта, — это ток, а не кратковременный разряд». Ну а при перестановке монет местами кислый вкус меняется на щелочной — вот вам и ключ к будущему определению направления тока. Затем аналогичные опыты он проводит на своих глазах, прикладывая к ним металлические электроды, и чуть не лишается зрения.

На следующий год Вольта уже пишет о том, что такие же результаты можно получить с влажными предметами, например бумагой, к которой с двух сторон приложены разнородные металлы, соединяемые проволокой: «В этом и заключается главное открытие». В 1794 г. он открыто и решительно отказывается от идеи и названия «животное электричество», утверждает, что электризация возникает при контакте двух разных веществ, причем заряды концентрируются на концах такой цепи, и приводит список металлов по степени возрастания их способности давать заряды (ряд Вольта).

Но если работы Гальвани вызвали всеобщий интерес и их стали повторять все, кто только мог, то появление статей Вольта привело к ожесточенной полемике о природе электрического тока, о его связи с живым веществом. Решительный успех Вольта наступил тогда, когда он построил свой знаменитый столб: круглые медные или серебряные пластинки чередовались с такими же цинковыми пластинками, а между ними были проложены кружки картона, пропитанные водой или слабой щелочью. Этот вольтов столб, по сути дела, почти ничем не отличается от современных батареек (в них медные или серебряные кружки заменены угольным стержнем, несколько изменен состав электролита и добавлены вещества, поглощающие те выделения, которые ранее «отравляли» вольтов столб, заставляли часто его разбирать и чистить электроды). Как писал Д. Араго, «этот столб из разнородных металлов, разъединенных небольшим количеством жидкости, составляет снаряд, чудеснее которого человек никогда не изобретал, не исключая даже телескопа и паровой машины».

В конце 1801 г. Вольта рассказывает о своих опытах и демонстрирует изготовленный им столб в Париже на заседании Национального института (тогдашний аналог Академии наук) в присутствии Первого консула Н. Бонапарта, по предложению которого учреждается специальная Большая премия и Золотая медаль, тут же присуждаемые А. Вольта (позже, уже в роли императора, Наполеон дарует ему графский титул). Но это были, по сути дела, последние работы А. Вольта: он совершенно не владел математикой, необходимой для дальнейших исследований, даже противился ее применению; позже он публикует лишь небольшие и ничем особенным не выделяющиеся исследования о природе молнии и условиях возникновения града.

Открытия Вольта положили начало науке об электрическом токе. Токи же в живых системах, исследование которых тогда временно приостановилось, преподносят ученым немало сюрпризов по сей день.

2. Гемфри Дэви

Статьи Гальвани и Вольта вызвали ажиотаж в научных кругах мира: изготовить вольтов столб нетрудно, а сколько всего можно попробовать с ним сделать!

Самые, на наш взгляд, интересные исследования провел в первый период Гемфри Дэви (1778—1829). Дэви — самоучка, начинал он учеником аптекаря, точнее фармацевта, и поэтому заинтересовался химией. Опыты его всегда отличались простотой и убедительностью, к тому же он проводил их очень быстро, работая параллельно с несколькими установками¹³. О первом из них, проведенном задолго

¹³ Обратим внимание на книгу знаменитого физико-химика (и некогда ярого врага атомизма) Вильгельма Оствальда (*Оствальд В. Великие люди*. СПб.: 1910), начинаю-

до начала исследований по электричеству и доказавшем, что тепло может порождаться трением, мы уже говорили.

Теперь остановимся на одном его изобретении, спасшем множество человеческих жизней. В те времена, как иногда происходит и сейчас, в шахтах, а их было множество в Англии, нередко были взрывы метана. Шахтеры брали в шахты канареек, как будто предупреждавших о появлении газа, но все равно где-то скапливалось достаточно газа для взрыва от огня неизбежной под землей свечки...

Шахтеры обратились к Дэви, самому выдающемуся английскому ученому. И тут он сразу вспомнил по своему аптекарскому опыту, что пламя не взрывает сахарную пудру, если она лежит не прямо на огне, а на тонкой сеточке. Дэви предложил такое устройство: свеча со всех сторон окружена металлической сеткой, метан постепенно просачивается внутрь и потому сгорает, но не взрывается, а наружу сильный жар и не выходит.

С тех пор уже почти два столетия лампа Дэви остается самой безопасной для работы в газоопасных местах. (Отметим, что в любых электрических системах всегда существует вероятность возникновения случайной искры, которая может поджечь метан, лампа Дэви в этом отношении и сейчас безопаснее.)

Еще одно его изобретение Дэви: он придумал способ получения высокого вакуума. Дело в том, что работа откачивающего насоса обычно состоит в том, что к откачиваемому сосуду присоединяют расширяющийся объем, так что весь газ распределяется теперь в большем объеме, его плотность падает; затем добавочный объем отсоединяют, выгоняют оттуда сжатием воздух, снова присоединяют к сосуду, снова расширяют и т. д. Отсюда очевидно, что полностью вакуумировать сосуд невозможно и увеличение степени разрежения требует все большего числа циклов.

Дэви придумывает такой способ: сосуд перед вакуумированием заполняется углекислым газом, а после механической откачки остатки газа поглощаются едким калием, находящимся в сосуде. Этот способ — химическое вакуумирование — применяется до сих пор.

Наибольшую известность принесли Дэви исследования по электричеству. Одним из первых он соорудил мощный, в 250 пар пластинок, вольтов столб и начал в 1800 г. проводить с ним опыты.

Первым из них было разложение воды, получение по-отдельности на двух электродах кислорода и водорода. При этом Дэви доказал, что во-

звуча с биографии Дэви и содержащую также биографии Ю. Р. Майера, М. Фарадея, Г. Гельмгольца и ряда химиков. В этой книге Оствальд пытается исследовать различия в психологическом складе ученых и то, как эти различия отражались в их работах.

дорода выделяется вдвое больше, чем кислорода, т. е. установил формулу воды. Затем он начал разлагать в такой электрохимической ванне различные вещества и открыл металлические натрий и калий (позже и другие элементы). Так была основана новая дисциплина — электрохимия.

В 1807 г., соорудив еще большую батарею, в 2000 пар соединенных последовательно пластинок Дэви продемонстрировал электрическую дугу между концами угольных электродов и назвал ее вольтовой дугой: это был впервые полученный источник мощного света без видимого горения и высокой температуры. (Такую дугу ранее, в 1802 г., наблюдал в Петербурге с помощью батареи из 2100 элементов В. В. Петров (1761–1834). Он же провел с ней целый ряд электрохимических исследований, оставшихся, к сожалению, мало известными.)

Расскажем вкратце об использовании вольтовой (электрической) дуги. Помимо техники электросварки — она по сей день практически не изменилась — сразу же возникла идея использования вольтовой дуги для освещения.

Примерно в то время впервые разрабатывались светильники, отличные от свечей и фитилей, плавающих в масле. В 1783 г. инженер Арган изобретает керосиновую лампу с фитилем, подсасывающим горючее через капилляры к месту горения. В 1803 г. У. Мэрдок приспособливает к ней стеклянную «трубу», усиливающую приток воздуха — конструкция лампы завершена. В это же время ряд изобретателей пытается создать приборы для газового освещения и — встречает резкий отпор со стороны консервативных профессионалов¹⁴. В 1816 г. Т. Друммонд изобретает новый светильник: струи водорода и кислорода направляются на мишень из извести и сжигаются там — раскаленная мишень дает яркий свет, неотличимый от дневного.

Но непрерывно продолжают попытки приспособить к освещению вольтову дугу, возникающую между двумя угольными стержнями. Основная проблема состоит в том, что угли постепенно сгорают и дуга тухнет — расстояние между ними нужно непрерывно и очень точно поддерживать постоянным. Если просмотреть техническую литературу того времени, она переполнена описаниями все новых и новых устройств для поддержания дуги. Десятки, а то и сотни патентов

¹⁴ По поводу возможностей газовых светильников Французская академия в 1797 г. постановила: «Проект следует отвергнуть прежде всего потому, что, как всем известно, ни одна лампа без фитиля гореть не может», а известный физик У. Х. Воластон в 1803 г. писал: «Фантасты, которые хотят освещать улицы светящимся газом в трубках, могут с таким же успехом освещать Лондон куском Луны» (из коллекции проф. Х. Соколина, «Семь дней» от 12.09.2002). Мы еще не раз столкнемся с явлением инерции мышления, мешающей непредвзято рассмотреть новые возможности, противоречащие старым представлениям.

используют, казалось бы, все мыслимые и немыслимые физические эффекты, технические соображения — и все без особого толка. Решение проблемы оказалось гениально простым и остроумным, его нашел в 1875 г. инженер П. Н. Яблочков. (Об этом расскажем ниже, при рассмотрении проблем освещения.)

3. Георг Ом

Продолжая свои исследования, Дэви в 1821 г. установил, что сопротивление проводника зависит от его длины, поперечного сечения и температуры. Дальнейшее изучение этих зависимостей осложнялось тем, что гальванические элементы быстро химически загрязнялись и напряжение на них, как мы бы сейчас сказали, быстро падало.

Новые возможности появились с неожиданной стороны. В том же 1821 г. Томас Иоганн Зеебек (1770–1831) открыл следующий эффект: если один контакт двух металлов (Зеебек начал с пары медь–висмут) нагревать или охлаждать, то между двумя другими концами возникает электрическое напряжение, можно включить этот элемент в цепь, и по ней потечет ток. Явление это было названо термоэлектричеством.

Ток, даваемый термоэлементом, зависел, при постоянной паре металлов, только от разницы температур и поэтому, как выяснилось, идеально подходил для исследования протекания постоянного тока по цепи. (При этом, конечно, нужно было предположить, а это было совсем не тривиально, что все токи — и от батарей и от термоэлементов — одной природы.)

Именно эта особенность термоэлементов, как сообразил Георг Симон Ом (1787–1854), позволяет проводить более точные измерения, чем мог сделать Дэви с его мощными батареями. Возможностей у Ома было мало: он был скромным школьным учителем и только в 62 года получил звание и место профессора университета (при этом, как бы в оправдание старой поговорки «нет пророка в своем отечестве», только после того как Королевское общество в Лондоне наградило его своей высшей наградой, медалью Копли).

Главным в работе и размышлениях Ома был метод аналогий: он представлял себе электрический ток как некоторый поток в цепи. После того как он установил, что сила тока не меняется вдоль цепи, эта аналогия стала для него руководящей. При этом сила тока является аналогом количества протекающей воды, а в качестве аналога уменьшения высоты русла канала он ввел понятие падения напряжения на каждом участке цепи.

Обладая, в отличие от Дэви, серьезной математической подготовкой, Ом сумел, вначале опытным путем, а затем и теоретически

вывести формулу для сопротивления проводников. После этого он связал между собой величину напряжения, силы тока и сопротивления (закон Ома для участка цепи), затем ввел понятие электродвижущей силы (ЭДС) как полной разницы высот между истоком и устьем реки и на этой основе вывел формулу для тока в полной цепи (формула Ома).

Законы Ома и сейчас являются основой электротехники. Их только несколько обобщил в 1857 г. на случай сложных цепей Г. Р. Кирхгоф (два правила Кирхгофа).

4. Эрстед и Ампер

Ханс Кристиан Эрстед (1777—1851) сначала занимался фармакологией и химией, затем стал профессором физики провинциального тогда Копенгагенского университета, читал лекции и демонстрировал на них опыты по физике.

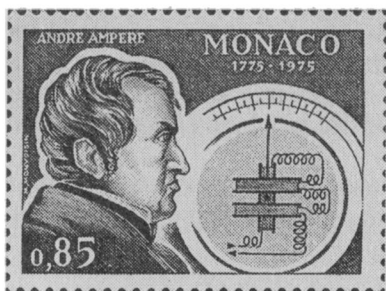
Как-то весной 1820 г. он готовился к лекции в препараторской, где на столе лежали все его нехитрые приборы: он соорудил довольно большую электрическую батарею («вольтов столб») и хотел показать студентам такие удивительные явления как нагрев проволоки током — без огня! И вдруг он заметил, что, как только замыкается электрическая цепь, дергается стрелка лежащего неподалеку компаса. Значит, решил он, на компас действует теплота от проволоки и поставил

Не менее дюжины людей наблюдали до Эрстеда действие электрического тока на компас, но никому не пришла в голову идея о том, что это ток создал магнитное поле! Добавим, что почти во всех подобных случаях после фиксации открытий находились люди, которые видели все то же самое раньше, точнее видели, но не увидели, не поняли новизны, не смогли ее оценить! Уже по крайней мере лет двадцать как мощные вольтовые батареи стали широко доступны и, конечно, связь магнетизма с электричеством пытались установить (популярнейший тогда философ Ф. В. Шеллинг утверждал на лекциях, что «электричество есть разломанный магнетизм»), но для этого пропускали ток через магнитную стрелку, помещали ее в электролит и т. д.

между ними экран, но стрелка продолжала дергаться, даже поворачиваться при перемене направления проводов. Эрстед забыл обо всех делах: он изыскивал и последовательно убирал все возможные причины такого влияния, но ничего не помогало — ток продолжал действовать на стрелку.

Тогда еще всеми принималось, что два типа явлений, электрические и магнитные, не могут иметь между собой ничего общего, есть, мол, две такие «тонкие материи» — электрическая и магнитная, их избыток или недостаток и создает соответствующие явления. А тут получалась какая-то связь...

Эрстед сразу предположил, что это электрический ток создает магнитное поле (в первой статье он, правда, еще писал, что только



в случае, если проволока раскалена, если происходит «электрический конфликт»; отметим, что до того он много лет искал и не находил связь между электричеством и магнетизмом).

Открытие Эрстеда было совершенно неожиданным (как озарения Гальвани, Рентгена, Беккереля, Резерфорда и открытия сверхпроводимости, «странных» частиц в XX в.). И необычность его заключалась в том,

что возникали силы, которые только поворачивали стрелку, а не притягивали ее к какому-нибудь центру — все известные силы, гравитационные и электрические, ведут ведь именно к притяжению, а эти только к повороту! Таким образом, здесь проявлялся совсем новый класс явлений!

После оцепенения, вызванного новизной явления, все, кто только мог, кинулись повторять опыт Эрстеда, благо, как оказалось, для этого вовсе не требовалась мощная батарея. Так, сразу же после получения этого известия Доминик-Франсуа Араго (1786—1855) изобретает электромагнит: наматывает изолированную проволоку на железный стержень и пропускает через нее ток.

А сам Эрстед отправился в научное турне, рассказывать о своем открытии: требовался непосредственный показ, убежденность свидетелей опытов¹⁵. В научной столице мира Париже на его докладе присутствовал Ампер — с этого начался новый период в теории электричества, точнее уже электромагнетизма. (Рассеять недоверие к появлению совсем нового типа взаимодействия — вращающего — было нелегко. Рассказывают, что великий математик и астроном Лаплас дождался выхода ассистента Ампера после показа опыта и спросил: «А не Вы ли это, молодой человек, подталкивали провод?»)

Андре-Мари Ампер (1775—1835) получил чисто домашнее воспитание: после казни отца во время революции они с матерью бежали в какое-то захолустье, но мать сумела переправить туда хорошие книги, и Ампер погрузился в философию и историю (математикой, по всем доступным источникам, он полностью овладел уже к 12 годам). Когда революционный пыл в стране спал, их навестил некий

¹⁵ Эрстед продолжал работать, в частности, в области термоэлектричества. Он сыграл огромную роль в становлении науки и образования в Дании, очень помог великому сказочнику Г. Х. Андерсену. Как писал Эрстед: «Знание законов природы является основной частью всех человеческих знаний и, следовательно, всей культуры».

друг отца, человек образованный и имеющий отношение к наукам. Гуляя с подростком по окрестностям гость уронил лорнет, Ампер поспешил поднять его и, ненароком глянув через него, увидел совсем иной мир: оказалось, что он очень близорук, но этого никто не замечает. С обретением очков Ампер погрузился в пиршество красок и форм цветов — он решил стать ботаником.

Доклад Эрстеда буквально перевернул его жизнь, он мгновенно уловил скрытые связи явлений и за две или три недели бешеной, без сна и отдыха, работы создал целое здание электродинамики, как назвал Ампер новую дисциплину (работа Эрстеда стала известна в Париже в июле 1820 г., а первый доклад Ампера о его теории состоялся уже 18 сентября того же года). Эрудит, человек с глубокой интуицией и отточенной логикой, он понял главное: если ток протекает вдоль бесконечного прямого провода, то создаваемое им магнитное поле должно, по соображениям симметрии, сохранять неизменными свои характеристики вдоль провода. Поэтому существует лишь одна возможность: если провести мысленно сечение, перпендикулярное проводу, то на такой плоскости поле должно идти как бы концентрическими кругами — ничего иного геометрия не позволяет.

С другой стороны, поле постоянного магнита имеет причудливую форму, зависящую от его размеров, изгибов, степени намагниченности, положения той стрелки на ниточке, которой пользовался еще Гильберт. Поэтому количественно измерять взаимодействие постоянного магнита с полем тока трудно, если практически вообще возможно. Да это и не нужно — можно взять два провода, у каждого свое магнитное поле, их величины и расположение проводов легко менять и измерять силы взаимодействия между проводами.

Так Ампер доказывает, — математически, преодолевая колоссальные трудности, и на опыте, — что параллельные провода, по которым токи текут в одну сторону, притягиваются, а при противоположно направленных токах отталкиваются. Он наматывает провод с током на катушку и показывает, что возникающее магнитное поле полностью идентично полю постоянного магнита — такую катушку он назвал

Написав ряд работ по ботанике и переехав в Париж, Ампер решает, что многообразие форм листьев и цветков требует математического описания, и постепенно переключается на исследования по геометрии, да так основательно, что в 1814 г. избирается в Парижскую академию как геометр.

С внешней точки зрения ничто не благоприятствовало его работе: жил он в униженной бедности, жена ушла, оставив ему трехмесячного сына Жан-Жака. Ампер сам выкормил ребенка, работая с ним на руках, стирая и убирая. Жан-Жак стал известным историком и филологом, членом Академии, но, чтобы их различить, во Франции до сих пор отца называют Великий Ампер. И еще один штрих: отец и сын, оба влюбились в красавицу мадам Рекамье, хозяйку знаменитого литературного салона, но отец, к которому она была ближе по возрасту, отошел в сторону...

В одном важнейшем эксперименте Ампера постигла неудача: он как-то заметил, что при подключении тока к прямому проводу свободно висящее неподалеку медное кольцо шевельнулось и приписал это тому, что в кольце возбудился ток, но оставил это наблюдение без внимания. В то время, в 1822 г., он оставляет экспериментальную работу и полностью сосредотачивается на построении теории электродинамики — продолжить экспериментальные исследования смог только Фарадей. (Ампер и Фарадей регулярно переписывались, но как-то не смогли понять друг друга: у них были слишком разные стили мышления.)

янного магнита находятся маленькие замкнутые кружки-цепи, по которым текут постоянные токи (молекулярные токи Ампера), и если они упорядочены, направлены в одну сторону, то тело является магнитом. Возражает он и против старого представления Гильберта о Земле

Исследования по электричеству заняли у Ампера около четырех лет, самых насыщенных и плодотворных в его жизни. После он возвращался к электричеству лишь эпизодически: изобрел некоторые новые приборы, в частности электромагнитный телеграф, затем разрабатывал проблемы механики, проводил оптические опыты и т. д. Не оставляя своего давнего интереса к философии, Ампер пытается объединить все естественные науки на общей методологической базе, построить иерархию наук. Тут он далеко опережает свой век, предлагая общее основание для всех наук — «кибернетику» (от греческого слова, обозначающего кормчего, рулевого). Этот термин был независимо возрожден именно в том же значении Н. Винером спустя век после Ампера.

как большом магните: дело в том, говорит Ампер, что где-то в Земле текут с востока на запад сильные токи, которые и создают земное магнитное поле — именно такое представление и стало общепринятым, хотя и сейчас продолжают

Теперь Ампер полагает, что никаких специфических магнитных сил, изученных ранее Кулоном, вообще нет: внутри постоянного магнита находятся маленькие замкнутые кружки-цепи, по которым текут постоянные токи (молекулярные токи Ампера), и если они упорядочены, направлены в одну сторону, то тело является магнитом. Возражает он и против старого представления Гильберта о Земле как большом магните: дело в том, говорит Ампер, что где-то в Земле текут с востока на запад сильные токи, которые и создают земное магнитное поле — именно такое представление и стало общепринятым, хотя и сейчас продолжают критические исследования и обсуждения этого явления¹⁶.

Современники с недоверием и явным неодобрением отнеслись к построенной Ампером электродинамике, слишком уж решительно он лишил их столь привычной «магнитной жидкости»:

теория Ампера была ведь настоящей революцией, она упразднила целую область физики. Понадобилось много времени и должно было вырасти новое поколение физиков, чтобы полностью воспринять новую парадигму. В 1873 г. гениаль-

¹⁶ Сейчас такие объяснения дает теория земного динамо. При этом сохраняются две трудности: во-первых, ось земного магнитного поля не совпадает с осью Земли, а во-вторых, все земное поле иногда, в среднем примерно раз в 200 тыс. лет, пропадает и возобновляется, возможно, в противоположном направлении, через, по-видимому, несколько сот лет. Но в период отсутствия магнитного поля поток заряженных частиц солнечного излучения уже не отклоняется в стороны и может усиливать процессы биологических мутаций в живом мире Земли, поэтому возникновение новых видов растений и животных может идти скачками, в соответствии с ходом изменений в магнитосфере. Эти проблемы еще очень мало изучены.

ный Максвелл, совершивший следующий революционный поворот, в «Трактате об электричестве и магнетизме» напишет: «Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы „Ньютона электричества“».

5. Майкл Фарадей

Ученый должен быть готов выслушивать любое, даже самое фантастическое, предположение.

М. Фарадей

Когда уже в конце жизни у Г. Дэви спрашивали какое из своих открытий он считает важнейшим, он отвечал, что это открытие Фарадея. И действительно, 30–60-е гг. XIX в. прошли для развития физики под именем Фарадея, и если вы не знаете, кто открыл то или иное явление в области электромагнетизма, отвечайте: Фарадей — вероятность попасть в цель при этом наибольшая. (Аналогично с изобретениями, там нужно с такой же вероятностью отвечать: Эдисон.)

Майкл Фарадей (1791–1867) проучился в школе три или четыре года. В 13 лет он поступил учеником к переплетчику, прочел популярную книжку по химии, которую должен был переплести, а также некоторые статьи в Британской энциклопедии и сам проделал описанные там опыты. Хозяин разрешил ему посещать по вечерам общедоступные лекции по химии, а услышав четыре лекции Г. Дэви, Фарадей их записал, переплел и отнес самому Дэви. После первого же разговора Дэви понял, что перед ним необычный талант, и, отправляясь в 1813 г. в поездку по Европе, взял с собой Фарадея, официально в роли камердинера.

Дэви к этому времени был столь знаменит, что все воюющие тогда стороны обещали ему свободный проезд, так что вместе с ним Фарадей смог посетить основные научные центры Европы. Фарадей сопровождал своего патрона на все лекции и во все лаборатории, затевая нередко более горячие дискуссии, чем Дэви. Столь независимое поведение камердинера не нравилось леди Дэви, и Фарадею пришлось раньше уехать обратно, но завязавшиеся знакомства, живое общение с активно работающими химиками и физиками, детальный осмотр лабораторий (до режима полной секретности было еще далеко, все



ученые чувствовали себя членами единого научного братства) — все это дало Фарадею больше стимулов к исследованиям, чем могло бы принести рутинное стандартное обучение¹⁷.

По возвращении в 1815 г. из Европы, Фарадей начинает исследования по химии в лаборатории Королевского института в Лондоне. Наиболее значительными из них были исследования каталитического действия платины (ускорения целого ряда химических реакций вблизи поверхности платины, которая сама при этом не изменяется), обнаружение ряда новых органических веществ, в том числе открытие бензола, тетрахлорэтилена, сжижение хлора и некоторых других газов.

Но не эти исследования были главными: Фарадей был зачарован открытием Эрстеда, тем, что электрический ток создает магнитное поле. Со своей блистательной физической интуицией он не мог не предположить, что должен существовать и обратный эффект — магнитное поле должно вызывать появление тока! И он его нашел, но на поиск этого явления, «превращения магнетизма в электричество», у него ушло ровно десять лет.

Экспериментировать тогда было нелегко: никто не производил нужные ему медные провода, и уж тем более никто не наносил на них изоляцию. Поэтому Фарадей сам вытягивал проволоку чуть ли не километрами, а жена (детей у них

У физиков есть полунасмешливое определение: эксперимент «по методу Фарадея, или методом тыка», когда в работающую, установку в надежде на чудо засовывается нечто совсем несообразное, логически необъяснимое, и чудо, надо сказать, иногда происходит, иногда так и совершаются открытия. Подобным образом в 2001 г. в Японии решили почему-то — никаких оснований к тому не было — проверить на сверхпроводимость диборит магния и... совершили открытие!

не было) терпеливо обматывала вручную эти километры шелковой нитью! А затем он наматывал проволоку на катушки разной формы, так и сяк помещал около них магниты и бежал в соседнюю комнату к отдельно стоящему, чтобы ничего

не мешало, гальванометру. А прибор упорно молчал, годами молчал. (Каждый эксперимент, удачный и неудачный, Фарадей подробно записывал, вместе они составили около 30 серий с более чем тремя тысячами параграфов, т. е. отдельных опытов, и публиковались в журнале «Философские сообщения» вплоть до 1885 г. под общим названием «Экспериментальные исследования по электричеству». Такую необычную и подробную форму записей Фарадей объяснял своей

¹⁷ Здесь, все же, надо добавить, что столь необычный способ получения образования пригоден только и только для гениев определенного рода: отсутствие подготовки по математике в какой-то степени мешало Фарадею, и хотя его мышление и способ изложения были очень четкими и последовательными, их математическая формализация существенно упростила бы и саму работу, и ее понимание читателями.

исключительно слабой памятью, требовавшей от него особой аккуратности. Эти записи изданы по-русски в трех объемистых томах, и по ним можно проследить и его озарения, и гигантский неустанный труд, неизбывное терпение.)

Но вот однажды в 1831 г. ему почему-то пришлось перенести прибор в ту же комнату, где были катушки и магниты. И тут ассистент краем глаза заметил, что стрелка шевельнулась в тот момент, когда магнит двигался, входил в катушку. Оказалось, что ток возникает тогда и только тогда, когда изменяется магнитное поле вокруг проводника! Это и было открытие эффекта электромагнитной индукции, на котором работают все электромоторы, генераторы и т. д., открытие, означавшее начало новой эры, эры электричества! (Независимо, но чуть позже это явление открыл в США Джозеф Генри (1797—1878), буквально наступавший на пятки Фарадею в своих открытиях: экстратоки, первый электромотор, явление самоиндукции, единица измерения которой носит его имя.)

Экстратоки Фарадей открыл в 1835 г. В момент включения цепи или ее выключения резко, скачком меняется сила тока и/или его напряжение, и только через некоторое время они принимают стационарные значения — проходят так называемые переходные процессы. Это явление часто приводит к тому, что в моменты включения происходят аварии в цепях (сгорают из-за большего тока электролампы и т. п.). Несколько позже Эмилий Христианович Ленц (1804—1865), физик, работавший в Петербурге, объяснил это явление по аналогии с законом инерции Ньютона: цепь как бы сопротивляется изменению ее состояния и в ней возникает ток, противоположный тому, который изменяется (закон Ленца).

Ко времени исследований Фарадея существовало большое количество «разных электричеств»: трибоэлектричество (получаемое трением), «животное» по Гальвани, гальваническое — в батареях Вольта, термоэлектричество, «магнитное» в опытах самого Фарадея. И совсем не было очевидно, что все это разные грани одного и того же явления — необходимо было навести некий порядок, доказать их сходство, либо четко выявить разницу между ними. И Фарадей доказывает их тождественность (1833).

Рассказывают, что когда король Георг IV, прославившийся разве что своим бракоразводным процессом и стремлением стать законодателем мод, осматривал выставку Королевского общества и остановился у стенда Фарадея с приборами, показывающими это явление, он насмешливо спросил: «Ну и что полезного можно отсюда извлечь?». Фарадей ответил: «Государь, можно это явление обложить налогом».

Представьте себе какие налоговые суммы следовало бы платить в настоящее время, когда все, все без исключения электрические и электронные устройства работают на основе явления электромагнитной индукции!

По числу своих открытий Фарадей, по-видимому, абсолютный чемпион. Он был очень религиозен, принадлежал к какой-то крохотной протестантской секте, скромнен. Он отказался от дворянского титула, а в конце жизни, вспомнив молодость, переплел все свои почетные дипломы и грамоты в колоссальный том (Фарадей был избран в 86 академий и научных обществ всего мира) и отдал их, чтобы не держать дома, в Королевское общество.

Основные аргументы для этого он черпает в электрохимии: все эти «электричества» ведут к одинаковым воздействиям на растворы кислот, щелочей, солей. В этих же опытах Фарадей доказывает дискретный характер электричества — это не жидкость, переливающаяся из одного сосуда (тела) в другое, а со-

вокупность «отдельных» частиц, природа которых была установлена лишь к самому концу века. При этом он формулирует основные законы электролиза и вводит столь привычные сейчас названия: катод, анод, ион (соответственно от греческих «спуск», «путь вверх», «идущий»), электрод, электролит, электролиз (в них к корню «электро» добавляются греческие «одос» — дорога, «литос» — растворенный, «лизис» — растворение) — Фарадей всегда советуется с коллегами-лингвистами из Королевского общества, введенные им термины очень точны и входят практически без изменений во все языки мира.

В 1837 г. Фарадей показывает, что все диэлектрики в электрическом поле поляризуются, т. е. имеющиеся в них заряды (их называют связанными) выстраиваются (обычно поворачиваются), так, чтобы противостоять внешнему полю. Это явление уменьшает силы взаимодействия между противоположными обкладками конденсатора и потому разрешает значительно увеличивать заряд на нем (сейчас — в сотни тысяч раз, что позволяет строить миниатюрные устройства).

Затем он экспериментально доказывает закон сохранения электрического заряда.

Следующий этап — магнетизм. К тому времени известно лишь, что железо намагничивается и может превратиться в постоянный магнит. Этими же свойствами обладают еще три элемента: никель, кобальт и гадолиний, а также некоторые сплавы (самые сильные постоянные магниты изготавливают сейчас из сплава самарий-кобальт) и их вместе называют ферромагнетиками. А как остальные вещества?

Фарадей показывает, что все существующие вещества можно разделить на два класса: парамагнетики, которые втягиваются с той или иной силой в магнитное поле в момент его возникновения (слабо, например, калий, натрий, сильно — все ферромагнетики), и диамагнетики, которые при образовании такого поля из него выталкиваются (медь, пламя свечи). Эти различия можно объяснить тем, возможно, слабым полем, которое вызывается (индуцируется) в них внешним полем, согласующимся с ним или ему противостоящим.

И наконец, Фарадей показывает, что магнитное поле может поворачивать плоскость поляризации света (об этом магнитооптическом эффекте Фарадея скажем ниже).

По мнению А. Эйнштейна, самой оригинальной и плодотворной идеей Фарадея было введение концепции поля, электрического и магнитного: «Надо иметь могучий дар научного предвидения, чтобы распознать, что в описании электрических явлений не заряды и не частицы описывают суть явлений, а скорее пространство между зарядами и частицами». Для описания полей Фарадей ввел их изображение с помощью силовых линий (точнее, он считал их реально существующими), что фактически было эквивалентно математическому описанию.

Исследования и открытия Фарадея открывают прямую дорогу к теории Максвелла, но нам сначала лучше рассмотреть положение в других областях нашей науки.

Минимальный словарь Бертрана Рассела

Если спросить у любого человека, что означает слово «энергия» и когда оно появилось, то вряд ли многие смогут на эти вопросы ответить.

Начнем с происхождения самого слова. По гречески слово «энергия» — это «деятельность», впервые оно было употреблено Т. Юнгом (о нем мы еще будем говорить) в 1807 г., а в более систематической форме его ввел в физику инженер и физик Уильям Ранкин (1820—1872) в 1853 г.; до того использовали, в основном, плохо определенное понятие «живая сила».

Теперь поговорим о смысле слова «энергия». Интуитивно понятно, что если у тела есть энергия, то оно может совершить работу, т. е. можно определить энергию через совершаемую работу. Ну а теперь

Любопытно отметить, что в русский язык слово «энергия», ныне столь привычное, вошло позже и употребление его производных долго не было нормированным. Так, Л. Н. Толстой в «Анне Карениной» еще пишет, что у Анны была «энергетическая ручка».

поставим вопрос по-другому: а что такое «работа»?

Единственное возможное определение будет таким: работа — это процесс, сопровождающий переход энергии из одного вида в другой. Например, поднимаем камень наверх, совершая работу, и наша биологическая энергия переходит в потенциальную энергию камня и в нагрев нашего организма.

Похожих примеров можно привести множество, и все они показывают, что работу мы вынуждены определять через энергию, а энергию — через работу. Таким образом, получается замкнутый логический круг — невозможно найти четкие определения основных физических величин!

Эту парадоксальную ситуацию детально анализирует в книге «Человеческое познание» (1948) великий математик, философ и писатель лорд Бертран Рассел¹⁸.

¹⁸ Полностью: лорд Бертран Артур Уильям Рассел, 3-й герцог Кингстон, виконт Эмберли и Ардсала (1872—1970). Славу и признание ему принес уже знаменитый трехтомник *Principia Mathematica* (совместно с А. Н. Уайтхедом, 1903), ставший Библией математической логики. Затем последовали многочисленные книги по философии, часто становившиеся бестселлерами, труды по политическим проблемам, даже художественные произведения (Нобелевскую премию по литературе он получил в 1950 г. за книги по философии). Рассел был пацифистом, выступал против любых войн и даже дважды попадал за это в тюрьму, но в 1939 г. он понял, что война бывает неизбежной

Рассел ввел понятие «минимального словаря». Для того чтобы начать определять какие-то понятия, нужно сперва принять некоторые слова *без определения*, интуитивно, и только потом, на их основе, можно будет построить определения других понятий. Т. е. положение здесь такое же как, скажем, в геометрии: мы ведь не определяем там, что такое «точка» и «линия». Часто говорят, например, такие слова: «точка это то, что не имеет размеров», но эти слова бессмысленны, потому что до того не дали определения понятию «размер».

Философы, пишет Рассел, много веков ломают копья в попытке дать определение понятию времени. Наилучшее из этих определений, по его мнению, принадлежит блаженному Августину, одному из отцов западного христианства (IV–V вв. н. э.): «Я хорошо понимаю, что такое время, пока меня об этом не спрашивают. Но я ничего не могу ответить на вопросы, когда их задают».

В чем же причина этих трудностей? Эти трудности, говорит Рассел, в принципе нельзя преодолеть: *ничего нельзя объяснить без того, чтобы не принять ранее какие-то аксиомы*. Поэтому давайте договоримся, что некоторое, по возможности, наименьшее число слов мы не будем определять вообще — примем, что их определение невозможно, а их смысл можно и нужно понимать и принимать на интуитивном уровне. К таким словам относятся: «время», «пространство», «энергия» (или «работа», они ведь определяются друг через друга), «заряд», «материя»

и некоторые другие, не из области физики, например «счастье», «любовь», «Бог». Но при этом можно и нужно описать, по-возможности, все свойства и проявления явлений, определяемых этими словами.

и фашизм надо уничтожить. После окончания Второй мировой войны Рассел вместе с А. Эйнштейном организовал антивоенное движение ученых.



Помимо выявленных Расселом несуразиц с определениями понятий есть и другая, но более искусственная проблема: мы не можем дать точного определения и тому, что такое физика. Вернее, единственное непротиворечивое определение должно звучать так: «Физика — это то, чем занимаются физики». Таким образом, оказывается, что физика — это не какой-то ограниченный набор исследуемых явлений и вещей, а совокупность методов исследований со своими выработанными практикой приемами и критериями правдоподобия.

Эрнст Мах когда-то говорил, что существуют лишь две науки: физика, которая изучает мир вне нас, и психология, которая изучает мир внутри нас. Но сейчас получается, что физик может вторгаться и в психологию и, например, в экономику или политологию (Мах вообще не считал их наукой), оставаясь при этом физиком, т. е. используя иные, чем принято, критерии поиска истины. (Можно сказать, что именно так поступил Андрей Дмитриевич Сахаров в своей общественно-политической деятельности.)

Таким образом, Рассел показал, что множество вековых споров между философами — и не только между ними — сводится лишь к тому, какие слова принять без определения и как на этой основе определить другие слова. Это был грандиозный шаг в построении теории познания, а следовательно, и в построении всех наук.

Вернемся к физике и, следуя Расселу, не будем пытаться определить то, что определить невозможно, а перейдем к описанию свойств энергии и других важнейших физических величин и к тому, как эти свойства открывались.

Теплота и термодинамика

1. Паровые двигатели

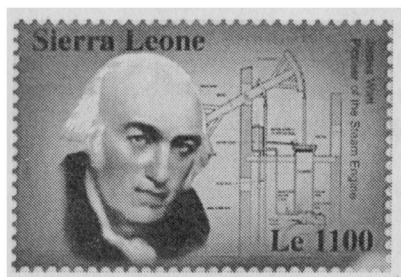
Формально, первый паровой двигатель построил еще Герон Александрийский в I–II вв. н. э.: это был золипил (от греческого «зол» — ветер) — по-видимому, реактивная турбинка, по оси которой подавался пар или горячий воздух, выходящий через косо расположенные щели-сопла. Аналогичное устройство, названное сегнеровым колесом, соорудил уже в XVIII в. Янош Андрош Сегнер (1704–1777). Использовались они, фактически, как игрушки и серьезного влияния на технику не оказали.

Совершенно иным путем пошел Дени Папин (1647–1712), ученик и ассистент Бойля и Гюйгенса. Папин изучал зависимость давления газов от температуры и обнаружил, в частности, что с понижением давления вода кипит при все более низкой температуре. В 1681 г. Папин изобрел паровой котел, закрытый сосуд, в котором был уже клапан: на крышку клапана давил рычаг с грузиком, так что передвигая этот грузик можно было регулировать наибольшее давление пара в котле. В 1695 г. Папин вводит вместо котла цилиндр с поршнем.

Возможно, первая попытка соорудить работающую паровую машину для откачки воды из шахт была предпринята неким Соломоном де Ко (приблизительно 1576–1620). Он соорудил закрытый металлический шар с водой, в котором была доходящая почти до дна длинная выводная трубка. Когда шар нагревался, образующийся пар давил на воду и вгонял ее в трубку, так что она поднималась вверх и выливалась. Когда давление падало, по другой трубке, находящейся сбоку, вода должна была всасываться в шар.

Предлагаемая им машина, однако, инженерно беспомощна: в цилиндр заливается немного воды, он ставится на огонь и пар поднимает поршень; если затем закрепить поршень на месте, снять цилиндр с огня и освободить поршень, то пар в цилиндре сконденсируется, давление упадет и поршень пойдет вниз, совершая работу. (Папин был неудержимым изобретателем: он проектировал пароход, повозку с двигателем, подводную лодку и т. д., но ни одно предложение не довел до конца.)

Проект Папина усовершенствовал Ньюкомен в 1705 г.: не надо снимать цилиндр с огня и т. д., достаточно облить его холодной водой



и пар внутри сконденсируется. Схожие машины изобретались и другие, в каком-то количестве они даже были изготовлены и успешно поднимали воду из шахт.

Но настоящую паровую машину создал только Джеймс Уатт (1736—1819). Он некоторое время учился в Лондоне у инструментального ма-

стера, а в 20 лет открыл в Глазго мастерскую, где изготавливал и чинил разные физические приборы. Необходимость разбираться в особенностях самых разных устройств, додумывать причины их неполадок и возможности переделок — все это и дало ему неоценимый изобретательский опыт. Нужно еще отметить, что на него особенно повлияли взгляды Дж. Блэка, который как раз тогда ставил в Глазго опыты по определению скрытой теплоты кипения.

Как-то к Уатту попала в починку модель паровой машины Ньюкомена. Модель он исправил, но и после того не перестал думать о таких машинах. Идея паровой машины возникла у Дж. Уатта в 1765 г. (внезапно, как он потом подчеркивал, во время прогулки, и здесь же у него сложилось полное представление о том, что надо сделать).

Прежде всего, его возмущало поливание цилиндра холодной водой — он-то знал от Блэка какова величина напрасно теряемой теплоты конденсации! Так что он соорудил специальный конденсатор, где выходящий из цилиндра пар конденсировался и выделяющуюся энергию можно было утилизировать для подогрева воды перед кипением, во-вторых, он понял еще один недостаток машины: если при движении в одну сторону на поршень давил пар, то обратно его гнал холодный воздух. Поэтому он закрыл цилиндр крышкой сверху и соорудил парораспределительную коробку: пар попеременно давил на одну и на другую стороны поршня, холостого хода у него не было.

Теперь возникла задача превращать прямолинейное (вверх-вниз) движение штока поршня во вращательное — и он изобретает так называемый параллелограмм Уатта, до сих пор, наряду с коленчатым валом, используемый для такого преобразования.

Затем надо было как-то регулировать скорость работы машины, не допускать ее чрезмерного ускорения, разгона. И Уатт изобретает так называемый центробежный регулятор, первое в мире устройство с отрицательной обратной связью: вращение передается от главной оси на маленькую вертикальную ось, на которой висят два стерженька с грузиками на концах, когда ось вращается, грузики на своих

стерженьках приподнимаются, и если подъем становится чрезмерным, то рычаг, отходящий от места их крепления, уменьшает доступ пара в машину — это замечательное устройство, используемое по сей день, стало первым работающим автоматом в истории!

Затем следует смягчить рывки машины при переключении направления пара, и Уатт изобретает маховик: тяжелое колесо, инерция вращения которого стабилизирует рывки машины и вращение которого, кроме того, служит для запуска машины в работу. (О технических трудностях, с которыми пришлось столкнуться Уатту, говорит его письмо брату: он с восторгом сообщает, что ему изготовили большой цилиндр и поршень к нему так точно, что между стенкой и поршнем с трудом пролезает кое-где лишь мизинец!)

Уже при постройке первых машин Уатт понял, что нужно ввести какую-то оценку возможностей их работы. Для этого он использует количество работы, которую машина может произвести в единицу времени — мощность. А поскольку наибольшей работоспособности можно ждать от лошади, то эту новую величину он предлагает измерять в лошадиных силах. (К силе, конечно, эта величина прямого отношения не имеет, подразумевается способность лошади интенсивно работать короткое время. В международной системе единиц мощность измеряется, в честь изобретателя, в ваттах.)

Вся эта совокупность изобретений заняла у Уатта около 11 лет, и в 1775 г. он получает патент сроком на 25 лет на изготовление паровой машины. И если вначале паровая машина использовалась только для откачки воды, то через три года он приспособил ее для чеканки монет, и вскоре она заработала на мельнице.

Уже в 1807 г. Роберт Фултон строит на ее основе первый пароход. С 1814 г., Джордж Стефенсон начи-

Любопытно привести некоторые возражения против проекта железной дороги того времени. В книге Д. Ларднера «Паровая машина с разъяснениями и картинками» (1830) читаем: «Путешествие по рельсам на большой скорости совершенно невозможно, поскольку пассажиры не смогут дышать и умрут от удушья», а в постановлении Баварского королевского медицинского совета от 1837 г. говорится: «Движение со скоростью больше 40 км в час неминуемо вызовет сотрясение мозга и сумасшествие, а у публики, находящейся возле такой дороги, — головкружение и тошноту» (из коллекции Х. Соколина).

нает приспособлять паровые машины к сухопутному транспорту, а в 1825 г. открывает первую железную дорогу. (Необходимо отметить, что вся изобретательская деятельность идет еще практически без научного обоснования: Стефенсон не рассчитывает процесс движения, не знает, видимо, законов трения, открытых Кулоном, и поэтому его первая дорога содержит третий рельс, зубчатый, по которому зубчатое колесо, вращаемое машиной, должно двигать паровоз вперед, и только случайная поломка этого колеса во время испытаний показывает его ненужность.)

Конструкция Уатта была столь совершенна, что паровая машина не претерпела в дальнейшем принципиальных изменений. После нее, с разрывом в сто лет и усовершенствованием техники, появились только паровые турбины — реактивная Парсонса (1884) и активная Лавалья (1889), используемые сейчас, в основном, на тепловых электростанциях, но уже наступала и новая эра, эра двигателей внутреннего сгорания.

Паровая машина Уатта очень быстро распространилась по всему миру, она сыграла исключительную роль в истории человечества, произвела настоящую революцию: до Уатта вся работа выполнялась лишь за счет мускульной энергии человека и животных (единственное небольшое исключение — вет-

ряные и водяные мельницы), а тут оказалось возможным, затратив некоторую работу на добычу топлива, получить сейчас же или через любой промежуток времени, в этом же или в любом ином месте неограниченный по сути дела источник энергии, работы.

Началась, как говорят историки, Первая промышленная революция с ее убыстрением темпов жизни и развития, с нарастающим увеличением, кстати, разрыва между промышленным Западом и все более отстающим от него Востоком.

Вторая революция происходит сейчас, и если первая революция уменьшила зависимость общества от затрат физической работы людей, то вторая — с ее автоматизацией, изобретением и внедрением «интеллектуальных» устройств — уменьшает зависимость производства и обслуживания от «человеческого фактора» вообще. К чему все это приведет, не началась ли уже с возникновением Интернета Третья революция, можно только гадать.

2. Теплота как поток

Мы уже говорили, что опыты Румфорда и Дэви опровергали теорию флогистона (теплорода), особой тонкой «материи», носителя и переносчика теплоты, говорили мы и о связи теплоты и механической работы. Тем не менее, и это любопытно, представление о теплороде продолжало играть, иногда, полезную роль (в таком случае говорят об эвристическом — способствующем успешному выбору начального направления работы — значении идей, которые затем могут быть и отброшены).

Вот такую эвристическую ценность теплорода использовал Жан Батист Жозеф Фурье (1768—1830). Идея его подхода состояла в том, что перенос теплоты можно представить как поток некоторой «материи» по аналогии с течением жидкости (законы гидродинамики были уже неплохо изучены Даниилом Бернулли и Леонардом Эйлером) или как ток в электрической цепи и построить на этой основе теорию распространения тепла. При этом теплопроводность разных тел можно

было сравнивать с электропроводностью или с пропускной способностью каналов, а нагрев тел — с накоплением воды в водоемах или зарядов в конденсаторе.

Отсюда, в частности, сразу же следовало, что скорость передачи тепла тем выше, чем больше разница температур между двумя телами. А это, в свою очередь, означало, что коэффициент полезного действия (КПД) тепловых машин должен определяться разницей температур на входе и выходе пара из рабочего цилиндра.

Общность рассмотрения привела к тому, что вышедшая в 1822 г. «Аналитическая теория теплоты» Фурье, подытожившая его исследования, на многие годы, вплоть до настоящего времени, определила, несмотря на физическую неверность основного положения, развитие теплотехники.

Отметим здесь же, что эта аналогия и в настоящее время играет важнейшую эвристическую роль. Во-первых, часто используется выражение «тепловой поток» и формулы его описывающие, а во-вторых, вместо того, чтобы рассчитывать и строить модель, скажем, сложной системы распределения тепла или оросительной системы, можно построить ее электрический аналог — это несравнимо проще. Затем, меняя величины сопротивлений, емкостей и т. п., можно составить оптимальную схему расположения и особенностей всех частей будущей теплотехнической или гидравлической системы. (Это метод аналогового моделирования, а сейчас даже не обязательно строить такую модель «в натуре» — ее можно, в свою очередь, смоделировать на компьютере.)

Любопытно, что в пользу аналогии, использованной Фурье, говорил и закон, найденный экспериментально к 1818 г. Дюлонгом и Пти: они установили тесную связь между теплопроводностью множества твердых и жидких веществ и их электропроводностью — они прямо пропорциональны друг другу и их отношение линейно растет с температурой. И только в XX в. этот закон был понят: он справедлив для таких тел, в которых теплопроводность связана в основном с движением электронов, которым описывается и основная часть электропроводности.

Теперь мы можем перейти к исследованиям гениального Сади Карно, также основанным на понятиях теплового потока.

Карно понял, что как саму машину, так и последовательность ее действий нужно «разложить» на систему простых составных частей и простых операций — такой подход, теперь кажущийся естественным, был впервые введен именно им, и в этом его непреходящая заслуга.

Поэтому Карно так описывает идеальную тепловую машину: она состоит из нагревателя, рабочего устройства и холодильника — рабочее

Никола Леонард Сади Карно (1796–1832, имя в честь персидского поэта XIII в. Саади), офицер французской армии — сын известного математика Лазара Карно, члена Конвента и организатора армий Франции в период Революции, министра внутренних дел во время «ста дней» Наполеона, а затем эмигранта. Племянник Сади Карно, тоже Сади Карно, был президентом Франции в конце XIX в., он нашел и опубликовал многие рукописи своего дяди, способствовал популяризации его идей.

не температуры нагревателя и холодильника постоянны, в рабочем устройстве потерь нет.

Один цикл работы тепловой машины состоит из четырех стадий: на первой стадии в цилиндр начинает поступать пар, повышая его температуру до температуры нагревателя, пар этот, на второй стадии, гонит поршень вверх, но при этом температура пара вследствие его расширения понижается (это рабочий ход), на третьей стадии, когда температура пара, в идеальной машине, сравняется с температурой холодильника, нужно открыть клапан и начать выгонять отработанный пар (при этом вырабатывается некоторая теплота, но она неизбежно поглощается холодильником), затем цилиндр отключается от холодильника, но поршень продолжают опускать до исходного состояния — это четвертая стадия. Итак, на первой стадии цилиндр получил теплоту от нагревателя, на третьей — отдал ее частично холодильнику, на первых двух стадиях производил работу, на остальных потреблял энергию. Однако потребляемая энергия меньше производимой работы, так как происходит при более низкой температуре.

устройство получает тепло от нагревателя, преобразует его в работу, а излишек отдает холодильнику и возвращается в первоначальное состояние — завершается цикл, а всю работу любой машины можно рассматривать как последовательность таких циклов. В идеальной машине

При этом Карно впервые выдвигает принцип: работа производится только при переходе тепла от более нагретого тела к менее нагретому — этот принцип превратится скоро во Второй закон термодинамики (Первый — это закон сохранения энергии, Третий говорит о невозможности охладить тело точно до абсолютного нуля).

Анализ Карно сыграл громадную роль во всем дальнейшем развитии техники, особенно тепловых машин, в том числе двигателей внутреннего сгорания, но о них позже.

3. Газовые законы

Выше мы уже говорили о связи между изменениями объема газа и давления внутри него, о законе Бойля—Марриотта.

Помимо лабораторных опытов, изменения давления газа наблюдались, со времен Паскаля, при подъеме вверх, в горы. Долго, однако, не удавалось выяснить закон этого изменения, но дело здесь было не столько в физике, сколько в математике: Лаплас, введя простое предположение о том, что чем больше плотность газа, тем быстрее она меняется с высотой, вывел так называемую барометрическую формулу (1821). После этого оказалось, что обычный барометр можно отградуировать в шкале высот подъема над уровнем моря, так появился альтиметр (высотомер), используемый до настоящего времени.

Серьезным шагом в исследовании газов стали многочисленные опыты Жозефа Луи Гей-Люссака (1778—1850): он установил, что коэффициент теплового расширения, при постоянном давлении, одинаков для всех газов и составляет $1/273$ их первоначального, т. е. при 0°C , объема (почти одновременно такие опыты провел и Дж. Дальтон).

Таким образом, оказалось, что поведение газов определяется тремя законами: Бойля—Мариотта, Шарля и Гей-Люссака, и в каждом из них принималось, что один из параметров — температура, давление или объем — постоянен. Естественным казалось попытаться объединить их в одну формулу, чтобы можно было менять все три величины.

Далее Клапейрон попытался выявить применимость газовых законов к такой области, где возможно замерзание газов — эти исследования, продолженные и углубленные уже в следующем поколении Р. Клаузиусом, привели к знаменитой формуле Клапейрона—Клаузиуса, связывающей изменения параметров газа со скрытой теплотой конденсации.

Клапейрон имеет еще одну заслугу перед физикой: он ввел так называемые индикаторные диаграммы — графики для двух переменных, рассматриваемых как две координаты при разных, но постоянных в каждом случае значениях третьего параметра. Их наглядность очень пригодилась последующим исследователям и послужила примером для внедрения наглядных представлений в физику.

Следующий шаг в этой теории сделал Уильям Томсон, лорд Кельвин (1824—1907). Согласно закону Гей-Люссака при температуре -273°C формальный объем газа должен был бы стать равным нулю. Точнее,

Исследование нагрева газов и их теплопроводности оказалось более трудоемким. Большую роль, как говорят, сыграл некий рабочий на оружейном заводе: заряжая с помощью нагнетательного насоса духовое ружье, он заметил такой его нагрев, что начал зажигать трут от этого ствола — явление, когда о нем узнали, показалось настолько странным, что Парижская академия отказывалась в него верить, пока опыт не был повторен в ее собрании. (Вообще говоря, такой скептицизм был не очень понятен, ведь Ж. А. Ц. Шарль (1746—1823) еще в 1787 г. установил, что с изменением температуры в постоянном объеме давление газа возрастает. Может быть поэтому, во искупление недоверия, Шарль в 1816 г. был избран президентом Академии.)

Объединить три закона в один удалось в 1834 г. Бенуа Полю Эмилю Клапейрону (1799—1864). Он подошел к задаче, по аналогии с обратимым циклом Карно, следующим образом. Давайте проведем мысленный эксперимент с идеальным газом: зафиксируем один из параметров, например температуру, и будем (1 этап) в соответствии с законом Бойля—Мариотта изменять давление и объем при постоянной температуре; затем зафиксируем полученную промежуточную величину объема (2 этап) и, меняя температуру, согласно закону Шарля, приведем давление к начальному уровню в том же объеме; теперь, при постоянном давлении (3 этап), с помощью закона Гей-Люссака, вернемся к исходному состоянию — таким образом, мы осуществили замкнутый цикл процессов, в результате которых ничего не изменилось. Математическое описание этого цикла и приводит к формуле Клапейрона, объединяющей все газовые законы (и несколько обобщенной Д. И. Менделеевым).

Титула лорда Уильям Томсон был удостоен в 1892 г., в основном за работы по проведению трансатлантического телеграфа (он хотел было принять титул лорд Кабель, но королева Виктория не согласилась и пришлось удовольствоваться названием ручейка, протекающего по территории университета, через который будущий лорд в молодости любил прыгать). Из-за этого титула происходили нередко недоразумения: часть его многочисленных результатов называется формулами Томсона, часть — формулами Кельвина, и поэтому лорда Кельвина как-то пытались обвинить в плагиате у У. Томсона!

Лорду Кельвину принадлежит и знаменитая тирада, произнесенная в докладе об успехах физики XIX в.: он заявил, что физика уже закончена, все выяснено, все открыто, на горизонте осталось лишь два небольших облачка — непонятный опыт Майкельсона—Морли и какая-то загвоздка с черным излучением. Через несколько месяцев вторая из них привела к квантовой теории Планка, а первая, через пять лет, к теории относительности Эйнштейна. Так началась новая физика.

должен был бы стать равным нулю межмолекулярный объем или, с позиций молекулярной теории, все движения молекул должны прекратиться, а следовательно должна исчезнуть и возможность извлекать из такого газа какую бы то ни было энергию. Эту точку (ее более точное значение равно минус $273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) Кельвин назвал абсолютным нулем температуры и, сохранив величину одного градуса по шкале Цельсия, ввел абсолютную шкалу температур, названную позднее шкалой Кельвина, градусы которой обозначаются как $^{\circ}\text{K}$ (чаще просто K, без значка «градус»).

С введением абсолютной температуры газовые законы (зако-

ны идеального газа) приобрели компактный и наглядный вид. С молекулярной точки зрения эти законы предполагают, что газ — это совокупность отдельных «шариков», стучающихся о стенки, скорость «шариков» растет с температурой (отсюда заключают, что температура определяется средней кинетической энергией этих частиц) и, конечно, такие «шарики» равномерно заполняют любой объем, куда они получают доступ (газ расширяется).

Поэтому ясно, что газовые законы никак не могут описывать плотные газы: в них молекулы могут при ударе слипнуться, и уж тем более эти законы не могут описать конденсацию газа, при которой основную роль должно играть их взаимодействие (взаимное притяжение).

Решить эту проблему смог, в первом приближении, Иоханнес Дидерик Ван дер Ваальс (1837–1923). Рассуждал он, примерно, таким образом: формула Клапейрона показывает, что произведение давления на объем, деленное на абсолютную температуру, пропорционально плотности газа, т. е. числу частиц в единице объема. Но взаимодействие между частицами должно быть пропорционально не числу частиц, а числу тех связей между ними, которое может установиться. Допустим, что у нас есть сто частиц, тогда, как легко посчитать, число возможных попарных связей равно произведению 100 на 99, деленному на два (аналогичное число получится, если посчитать сколько

партий должно быть сыграно в турнире, если все сто участников будут играть друг с другом по одной партии), если же рассматривать возможность связей трех молекул в одну, то это число надо еще умножить на 98 и разделить на 3, четырех — умножить еще на 97 и разделить на 4 и т. д. (все эти рассуждения следуют из школьной комбинаторики). Ну а поскольку число молекул очень велико, то вместо таких умножений можно по-

просту считать, что число попарных взаимодействий пропорционально квадрату плотности, тройных взаимодействий — ее кубу и т. д. Тогда к Клапейроновскому произведению давления на объем, деленному на абсолютную температуру, и пропорциональному плотности должны быть добавлены слагаемые, пропорциональные квадрату плотности, ее кубу и т. д. (такое выражение называют вириальным разложением).

При этом первый вириальный коэффициент — это просто коэффициент Клапейрона, второй можно, в принципе, рассчитать по рассеянию частиц друг на друге, с третьим мороки еще больше: даже в настоящее время большая часть усилий химиков-теоретиков сводится к расчетам этих самых вириальных коэффициентов (точнее, второго, изредка третьего и, как рекорд, четвертого) для различных сред.

Свое уравнение Ван дер Ваальс смог представить и в более наглядном виде, похожем на уравнение Клапейрона, где только из полного объема газа надо вычесть собственный объем молекул (нельзя ведь думать, что при абсолютном нуле они исчезнут!), а к наружному давлению добавлено давление молекул друг на друга. И это, достаточно все же простое уравнение описывает не только газ, но и жидкость и, главное, некоторые черты перехода между ними (Нобелевская премия 1910)!

4. Атомистика

Слово «атомизм» относилось первоначально к любому учению, представляющему вещь, понятие, звук и т. д. как состоящие из каких-то далее неделимых частей (от греческого «а-тома» — то, что нельзя разделить). Ввели это представление древнегреческие философы еще в V в. до н. э., но с наукой оно первоначально никак не соотносилось, оставаясь чисто философской доктриной.

По Ван дер Ваальсу жидкое состояние как бы продолжает газовое, поэтому оно отлично от твердого состояния, в особенности кристаллического, в котором все атомы или молекулы располагаются (или должны располагаться) в строго определенном порядке. Оказалось, однако, что ситуация не так проста: многие явления в жидкостях больше согласуются с ее квазикристаллической структурой (приставка «квази» означает «якобы»), т. е. в жидкости где-то, на какое-то время возникает упорядоченность, затем пропадает, как бы переносится в другое место и т. д. Такую теорию предложил и начал строить замечательный физик-теоретик Яков Ильич Френкель (1894–1952). Заметим, однако, что теория жидкого состояния еще очень далека от завершения!

Лавуазье был казнен в период разгула революционного террора как бывший (по наследству от отца) откупщик сбора налогов. Кто-то в момент его казни на гильотине сказал, что слетела голова, подобную которой Франции придется ждать столетия. Заметим, что самым яростным гонителем ученых в годы революции был Марат, человек, который до революции долго пытался добиться признания своих совершенно бредовых «научных теорий». Такое поведение лжеученых (неудачных поэтов, историков и т. п.), по-видимому, закономерно, и оно ярко проявлялось как в советские времена, так и в гитлеровской Германии.

Отметим, что в 1785 г. Лавуазье, ярый противник флогистона, устроил «судебный процесс» над ним, по решению которого провели церемонию сожжения книги Г. Штала — основоположника этой теории.

В годы химия была намного популярней физики, а работы Бернулли пестрели математическими значками, химикам тогда, как правило, непонятными. Помимо того, авторитет Ньютона, считавшего, что частицы газа сцеплены друг с другом, и успехи теории теплорода, объяснявшие множество явлений, — все это, казалось, делало излишней трудную для чтения работу Бернулли, написанную на совсем другом уровне.

Дальтон был самоучкой и поэтому старался тщательно проверять все опыты, о которых читал. Но ему никак не удавалось повторить опыты Ньютона с разложением белого света призмой: на месте красной полосы он видел серую. Позже он выяснил, что такой недостаток свойствен и другим людям, и это явление стало называться дальтонизмом (чаще всего не различают красный и зеленый цвета). Исследования дальтонизма легли в основу современной теории цветового зрения, по которой в глазу имеются три вида колбочек, воспринимающих три основных цвета, и палочки, отличающие наличие или отсутствие света вне зависимости от его окраски. У Дальтона один из видов колбочек отсутствовал, именно поэтому красная полоска казалась ему серой.

Мы уже говорили о том, что Даниил Бернулли смог рассмотреть давление как следствие ударов каких-то частиц о стенки сосуда и на этой основе доказал закон Бойля—Мариотта (вывод эмпирических закономерностей на основе атомистической гипотезы можно рассматривать как некоторое подтверждение этой гипотезы). Однако теория Бернулли оставалась, несмотря на его безусловный авторитет, практически неизвестной вплоть до начала XIX в. Дело в том, что в те

Положение начало меняться к концу XVIII в. с появлением количественного направления в химии, созданного главным образом Антуаном Лораном Лавуазье (1743—1794) при деятельном участии его жены Мари-Анн. Наиболее важным из этих исследований было установление на основе строгих количественных измерений закона сохранения массы в химических реакциях. При этом Лавуазье составил первый список химических элемен-

тов, неизменно переходящих в ходе реакций из исходных веществ в одно конечное, в 1789 г. он насчитал 23 таких вещества (элемента).

Вскоре Джон Дальтон (1766—1844) установил, что атомы определенного элемента имеют одинаковые физические характеристики вне зависимости от того, в какое соединение они входят (это утверждение не совсем точное, но различия во времена Дальтона выявить было еще

невозможно). Затем в 1803 г. он ввел понятие атомного веса, составил первую таблицу элементов, придумал для них обозначения, которые, однако, оказались неудачными и были забыты.

Если принять атомно-молекулярную точку зрения, то естественно считать, что давление газа — это результат ударов молекул о стенки сосуда. Ну а что произойдет, если в сосуде есть несколько типов молекул, смесь газов? Наиболее простым было бы сложение их давлений. Дальтон проверяет эту гипотезу и доказывает ее правильность: давление смеси газов равно сумме давлений ее составляющих (закон Дальтона).

Далее этот закон обобщает Амедео Авогадро (1776—1856), юрист по образованию, который в возрасте 24 лет начал самостоятельно изучать математику и физику. Он рассматривает, какие объемы газов

могут полностью прореагировать друг с другом (сколько, например, водорода и кислорода, полученных электролитически, нужно взять, чтобы газы полностью превратились в воду). На этой основе в 1811 г. он открывает важнейший для физики и химии закон: в равных объемах газов при одинаковом давлении содержится равное число молекул (закон Авогадро, число молекул в одной грамм-молекуле также называют числом Авогадро).

Представления Авогадро, вначале не обратившие на себя должного внимания, были реанимированы около 1860 г. итальянским химиком Станислао Каниццаро (1826—1910), который установил разницу между атомным весом (масса атомов, число которых равно числу Авогадро, сейчас определяется по таблице Менделеева) и молекулярным весом, определяемым относительными долями атомов разного типа, образующих молекулу.

Теперь нам следует перейти к таким понятиям, как работа и энергия, которые раньше только упоминались.

5. Импульс, энергия, момент

В 1668 г. Лондонское Королевское общество предложило своим членам разработать теорию механического удара тел. Тогда же и в следующем году на это предложение откликнулись трое ученых: геометр Джон Валлис (учитель Ньютона), математик и архитектор Кристофер Рен (1632—1723), построивший 53 церкви, в том числе знаменитый собор святого Павла в Лондоне, и Христиан Пюйгенс.

Результаты этих работ вызвали широкую, продолжавшуюся более двух веков дискуссию о силе. Суть ее заключалась в следующем: всем ясно, что всякие изменения состояния тел и их движения вызываются действующими силами, но что при этом играет роль — величина силы и длительность ее действия или же величина силы и длина пути, на протяжении которого она действует на тело?

Все трое ученых, занявшись ударом, основывались на сохранении импульса, но несколько улучшили рассуждения Декарта. Так, Валлис учел, что импульс сохраняется и по направлению, и отсюда рассчитал углы, под которыми разлетаются после удара шары. Рен сформулировал такие же законы удара без объяснения. А вот, гениальный Гюйгенс не только учел направления импульса, но и рассмотрел потери, как мы теперь бы сказали, кинетической энергии шаров, если удар не совсем упругий.

На умы ученых, и не только ученых, в то время сильно влияло картезианство — философская система, созданная великим Декартом. Все строение мира и всех его отдельных частей Декарт требовал объяснять с помощью законов механики: даже животные и растения — это тоже механизмы, только очень тонкие, сложно устроенные. Однако, кто-то же должен был привести все эти механизмы

в движение. Это, по Декарту, и сделал Бог, который таким образом ответственен за первый толчок. Но такой толчок определяется силой и временем ее действия, эту величину Декарт и его последователи называют количеством движения и требуют, чтобы ее величина, как и все, что исходит от Господа, сохранялась.

Сейчас в русской, французской и немецкой литературе количество движения обычно называют импульсом, а в английской — моментом. Импульс определяют через величину силы и время ее действия, при этом он оказывается произведением массы тела на его скорость. В точном соответствии с мыслью Декарта импульс сохраняется и по величине, и по направлению своего действия (направленности сам Декарт не учитывал).

6. Готфрид Вильгельм Лейбниц: функция действия

Cum deus calculat, fit mundus.

(Как Бог вычисляет, так мир делает.)

Лейбниц

Говоря о гениях эпохи, нельзя не остановиться, хотя бы кратко, на фигуре Лейбница.

Барон Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716) начинал свою деятельность как юрист, но когда в 22 года он приехал в Париж, интеллектуальную столицу тогдашнего мира, то заинтересовался математикой, которую совершенно не знал. Изучая ее, он изобрел, независимо от Ньютона, дифференциальное и интегральное исчисление, не придав этому существенного значения: «У меня много таких пустяков», — заявил он, когда друзья настояли на публикации его революционного математического метода.

После этого Лейбниц перешел к физике. Как он написал позже: «Две вещи оказали мне услугу: во-первых, то, что я был самоучкой, а во-вторых, то, что в каждой науке, едва приступив к ней, часто не вполне понимая общеизвестное, я искал новое».

Первую свою работу по физике Лейбниц публикует в 1686 г. В ней он спорит с Декартом и доказывает, что во всех процессах сохраняется не произведение массы тела на скорость (импульс), а произведение массы на квадрат скорости. Сейчас эту величину называют кинетической энергией, а то, как Лейбниц ее выводил (рассматривая произведение массы падающего тела на высоту падения) определяют через переход потенциальной энергии в кинетическую.

Но Лейбниц не знает таких слов и вводит понятия живых и мертвых сил. «Мертвые силы» — это те, которые не приводят к изменениям движения, а для таких сил, при действии которых скорости возрастают, он выбирает название «живые силы».

Однако картезианцы, сторонники Декарта, неустанно возражают: Лейбниц не учитывает длительности действия силы, а ведь от этой длительности зависит величина скорости тела! И Лейбниц вводит в 1669 г. новое понятие — *действие* — в простейшем случае это, в современных обозначениях, произведение энергии на время ее изменения. Введение этого понятия можно оценить как гениальное прозрение: сам Лейбниц пока не знает, как им распорядиться, но уже в 1743 г. Жан Даламбер (1717–1783), математик, механик и один из создателей знаменитой французской «Энциклопедии», показывает, что целые классы задач в механике тел, газов и жидкостей сводятся к поискам наибольших и наименьших значений функции действия. В XIX в. такого рода принципы (принципы наименьшего действия) были положены в основу всей механики, а в 1900 г. Макс Планк предположил, что величина действия не может меняться произвольно, она изменяется только скачками, и отсюда началось развитие квантовой теории. Современное изложение почти любых разделов теоретической физики

В течение всей жизни Лейбниц изобретал различные механизмы, например: построил ветряную мельницу, которая качала воду на вершину горы, конструировал часы и т. д. В промежутке Лейбниц создал законченную философскую систему, в ее основу он положил замечательный принцип: «ничего не может случиться без причины», — который можно назвать принципом причинности (или принципом достаточного основания) и который является основой современной науки, отвергающей возможность «чудес». Большую роль сыграло в будущем и его представление о корнях интеллектуальной деятельности: «Чувства нам необходимы для того, чтобы мыслить. Если бы у нас не было чувств, мы не могли бы думать».

Помимо того, Лейбниц считается одним из основоположников геологии, его перу принадлежат значительные труды по языкознанию, истории и по его первой специальности — юриспруденции (все это время он оставался на службе — дипломатом, библиотекарем герцогства Ганновер, юридическим советником герцога).

начинается, как правило, с положения: запишем функцию действия в таком-то виде и потребуем, чтобы для осуществимых явлений она достигала максимума или минимума (сокращенно — экстремума).

7. Виды энергий

Но мы остановились на том, что ученые разных направлений выдвигали в качестве основного одно из двух понятий — импульс или «живую силу», т. е. энергию. Сложность, по-видимому, состояла и в том, что в то время была известна и механическая, и тепловая энергия, но они еще считались совершенно разными величинами.

В свою очередь механическая энергия может быть подразделена на кинетическую, т. е. энергию, определяемую скоростями движения тел (от греческого слова «кинема» — движение, отсюда, кстати, образовано и слово «кинематограф» — запись движения, сокращенно — «кино»), и потенциальную (от греческого «потенция» — возможность), которая как бы отсрочена, но в любой момент может перейти в кинетическую — это энергия поднятого тела, сжатой или растянутой пружины и т. д. Особые сложности пониманию вызывала механическая энергия, связанная с вращением тел, а также энергия колебаний, например звуковая.

Затем к списку энергий прибавилась энергия разделенных электрических зарядов и энергия электрического тока. Нельзя было оставить без внимания и световую энергию.

В итоге было установлено, что все эти виды энергии можно описывать одинаково и что должен иметь место закон сохранения полной энергии замкнутой системы (на его истории мы остановимся ниже).

Но прав был не только Лейбниц. Оказалось, что прав был и Декарт — наряду с законом сохранения энергии имеет место и закон сохранения полного импульса замкнутой системы (точнее, этот закон записывается в виде трех равенств — импульс сохраняется и по направлению, т. е. по отдельности по всем трем осям пространства). Именно из закона сохранения импульса можно вывести три закона Ньютона.

К этим законам нужно добавить еще два.

Один из них — это закон сохранения момента импульса. Простейший пример этого закона показывает быстро крутящийся волчок — его можно ударять, он может перемещаться, но направление его оси, если она изначально была вертикальной, остается неизменным. Именно этим законом объясняется устойчивость быстро катящегося двухколесного велосипеда — оси вращающихся колес стремятся сохранить свою горизонтальную направленность и при этом, чем тяжелее обод колеса, тем выше, при одной и той же скорости, его

устойчивость. (Этот закон, опять же, записывают в виде трех равенств — соответственно трем возможным направлениям оси.)

Последний закон сохранения — это закон сохранения положения центра масс (центра тяжести) замкнутой системы: никакими внутренними силами нельзя сдвинуть с места центр масс системы. Самый простой пример этого закона таков: если вы сидите в неподвижной лодке на спокойной воде, то при переходе, например, с носа на корму сама лодка сдвигается в противоположном направлении так, чтобы общий центр масс системы «лодка + человек» остался на месте. По той же причине, если прыгнуть с лодки на пристань, то сама лодка при этом отскочит назад. Этот закон показывает, что нельзя построить такой двигатель, который смог бы, находясь в замкнутом объеме, двигать ракету или экипаж вперед: при любом движении в пустоте вперед какое-то количество вещества должно двигаться назад, и чем выше его скорость, тем быстрее должна лететь и ракета¹⁹. Именно поэтому фантасты, а иногда и серьезные инженеры думают о строительстве таких ракет, у которых назад будут вылетать световые потоки (фотонные ракеты).

В электродинамике добавляется еще закон сохранения электрического заряда, в теории поля появляются и другие законы сохранения того же типа, но о них — позже²⁰.

Полностью проблему законов сохранения (без зарядов и симметрий) смогла решить Эмми Нётер (1918). Она предложила и доказала следующую замечательную теорему: если принять известные законы механики, то закон сохранения энергии точно соответствует ровному течению времени (т. е. его нарушение означало бы, что время двигается какими-то скачками), закон сохранения импульса соответствует

Так называемый закон сохранения массы, установленный Лавуазье при экспериментальных исследованиях химических реакций (ранее схожие соображения высказывал М. В. Ломоносов), является, на самом деле, приближенным: согласно теории относительности А. Эйнштейна (1907) должна сохраняться лишь полная энергия, одна из компонент которой пропорциональна массе покоя. Однако изменения массы в обычных химических реакциях столь малы, что ими всегда можно пренебречь и исходить в расчетах из «закона сохранения массы».

Амалия Эмми Нётер (1882–1935), известный математик, крупнейший алгебраист своего времени, работала в Геттингене в Германии, откуда после прихода Гитлера к власти как еврейка была вынуждена бежать в США, вероятно, покончила самоубийством. Ее брат, тоже математик, Фриц Нётер эмигрировал в СССР, вскоре был арестован и пропал без вести. Имя Эмми Нётер увековечено в названии кратера на Луне.

¹⁹ Смешно и печально, что временами, казалось бы, серьезные люди начинают «изобретать» двигатели, которые, находясь целиком в замкнутом спутнике, могут куда-то передвигать его центр тяжести. Последний пример — пресловутая «гравитаппа», разрабатываемая в России к 2010 г.

²⁰ См.: Перельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел IV. Глава 1.

возможности равномерного пространственного переноса (вне поля тяготения), закон сохранения момента импульса — равномерному повороту, закон сохранения положения центра масс — возможности произвольного выбора начальной точки отсчета координат; и больше никаких законов сохранения быть не может!

8. Закон сохранения энергии: Майер, Джоуль, Гельмгольц

В первые десятилетия XIX в. было уже ясно, что существуют несколько видов энергии: механическая, тепловая (опыты Румфорда и Дэви показали, что теплорода не существует и можно получать тепло

Уильям Фридрих Вильгельм Гершель (1738–1822) переехал из Германии в Англию в 19 лет. Поначалу он готовил себя к карьере музыканта, композитора и учителя музыки. Увлечшись астрономией, он изобрел и построил лучший для того времени телескоп-рефлектор с 12-метровой трубой и с зеркалом диаметром 122 см, в 1781 г. открыл планету Уран, чем вдвое расширил размеры Солнечной системы — до него на этом месте 17 раз отмечалось наличие «звезды», но никто не заподозрил в ней новую планету! Гершель первым наметил контуры нашей Галактики и открыл движение всей Солнечной системы в ней, установил существование двойных звезд и т. д. Во всех работах ему деятельно помогала сестра Каролина Лукреция (1750–1848), продолжившая его работу (открыла 8 комет и 14 туманностей). Она стала первой женщиной, избранной в Королевское общество. Знаменитым астрономом и физиком стал и его сын Джон Фредерик Уильям (1792–1871), о котором еще скажем ниже.

за счет механической энергии), электрическая (нагрев проволоки током), световая (в 1800 г. Уильям Гершель открыл существование инфракрасного, т. е. находящегося ниже красной части спектра, теплового излучения Солнца, нагревающего помещенный в него термометр). Казалось бы, все физики должны сразу же взяться за исследования количественных соотношений между этими типами энергий.

Однако, как это ни странно, но важнейший закон физики, закон сохранения энергии, устанавливался почти одновременно тремя людьми, не физиками по профессии. Создается впечатление, что профессиона-

лам гораздо труднее отойти от уже усвоенных представлений, что им мешает какая-то инерция мышления (мы еще вернемся к этой серьезной психологической проблеме).

Хронологически первым из них был Юлиус Роберт Майер (1814–1878), врач по профессии. В 1840–1841 годах он в качестве судового врача принимал участие в длительном плавании на остров Ява. К концу путешествия он обратил внимание на то, что венозная кровь у матросов в южных широтах гораздо светлее, чем была севернее. А поскольку потемнение крови при переходе из артерий в вены связано с процессами окисления, т. е. с затратами на работу, в частности, на выработку организмом тепла, то Майер заключил, что работа, производимая человеком, должна быть пропорциональна количеству

потребляемого вещества — работа пропорциональна потребляемой химической энергии и вырабатываемой тепловой энергии (1840).

К этому заключению он пришел внезапно — это было озарение, поскольку до того он не только не занимался физикой, но даже не учил ее в университете и как будто вообще ею не интересовался. Через год, вернувшись в Нидерланды, он знакомит друзей со своими взглядами на параллельность явлений химии и физики и только сейчас начинает изучать физику. Полностью свои наблюдения и заключения он опубликовал только в 1845 г. (предварительная статья вышла в 1842 г.) и присоединил к ним теоретический, на основе цикла Карно, расчет механического эквивалента теплоты. Споры и дискуссии с местными учеными привели его к психическому заболеванию (возможно, уже ранее начавшемуся), так что Р. Ю. Майер на много лет был помещен в психиатрическую больницу...

Джеймс Прескотт Джоуль (1818—1889) был по специальности пивоваром, удачливым и умелым промышленником, самоучкой, хотя в юности короткое время занимался с Дж. Дальтоном физикой и химией.

Не оставляя своих коммерческих занятий, он чрезвычайно аккуратно проводил и физические исследования. Начал он с попыток создать дешевый электродвигатель с помощью вольтовой батареи, но оказалось, что цинк в ней быстро окисляется (по оценке Джоуля прокорм рабочей лошади обходится дешевле частой замены цинка в батареях). Перейдя к количественным измерениям, он начал с исследований

Далее Джоуль занимался свойствами газа при его расширении и совместно с У. Томсоном (лордом Кельвином) открыл эффект охлаждения газа при его медленном расширении. Они придумали остроумную систему замедления расширения газа — если просто оттягивать поршень в каком-то сосуде или быстро открывать кран в откачанный заранее сосуд, то это механическое действие уже ведет к некоторому нагреву, поэтому Джоуль и Томсон пускали газ в откачанный сосуд, вход в который закрывала пористая перегородка: газ медленно просачивался и глубже охлаждался.

теплового действия электрического тока и в 1840 г. экспериментально вывел формулу зависимости выделяемого тепла от силы тока, проходящего через проволоку из разных металлов (в 1842 г. эту формулу несколько уточнил Э. Х. Ленц) — это закон Джоуля—Ленца. Таким образом Джоуль доказал, что электрическая энергия количественно соответствует тепловой энергии (напомним, что возможность получения электрической энергии за счет тепловой была открыта еще в 1821 г. Зеебеком — это так называемый термоэлектрический эффект).

В связи с этими открытиями любопытно отметить, что все нужное для них было в руках Г. Ома, опытного и образованного физика, уже к 1821 г., задолго до начала исследований Джоуля: сейчас закон Джоуля—Ленца так и выводится прямо из закона Ома. Нужен

Герман Людвиг Фердинанд фон Гельмгольц (1821–1894). Происходя из очень бедной семьи, он мог получить есплатное образование только в военно-медицинском корпусе, откуда вышел в звании помощника полкового лекаря с обязательством пожизненной военной службы. Занимаясь медициной, Гельмгольц создал теорию трехцветного зрения и теорию слуха (в частности, выяснил различия между шумом и чистым тоном), изобрел ряд приборов, используемых до сих пор в офтальмологии и ларингологии (налобное зеркало, освещающее и одновременно позволяющее рассматривать исследуемый орган, и другие), развил первую теорию прохождения нервного импульса (получил, что его скорость порядка 160 км/час), разработал количественные методы физиологических исследований. Имя Гельмгольца носит целый ряд институтов офтальмологии в мире, в том числе в Москве. По просьбе практически всех научных учреждений мира, король Пруссии освободил его от военной службы, и Гельмгольц смог полностью отдаться научным исследованиям: помимо названного ему принадлежат термодинамическая теория химических реакций, теория колебательных процессов в электрических цепях, теория образования вихрей в жидкости, значительные работы по математике, метеорологии, популярные работы по философии.

был, фактически, крохотный шаг — а его пришлось ждать почти двадцать лет! Остается признать, что такой «шажок», объединяющий разные, казалось, области физики, требует какой-то особой направленности интеллекта, его свежести или гениальности.

Объединение электрической и тепловой энергий, признание их тождественности требовало проведения количественных сравнений с ними механической энергии. (О том, что механическая работа ведет к выделению тепла, знали уже Румфорд в 1798 г. и Г. Дэви в 1799 г., но никаких количественных измерений они не проводили.)

Джоуль сумел провести к 1843 г. четыре различных эксперимента, в которых механическая энергия поднятого груза полностью превращалась, благодаря трению, в тепло, нагревая при этом выделенный объем воды. Это позволило ему с большой

точностью определить механический эквивалент теплоты, т. е. количество механической работы, необходимой для производства единицы тепловой энергии. (Поэтому единица работы в Международной системе единиц называется его именем: Джоуль.)



Наконец, несколько позже их проблемой сохранения энергии занялся Герман Гельмгольц. В 1847 г. он математически обосновал этот закон, распространив его на механические (в том числе — и это очень важно и ново — на акустические), тепловые, электрические и физиологические процессы.

Можно сказать, что работой Гельмгольца формальное становление закона сохранения энергии было закончено, в рамках термодинамики он стал именоваться Первым принципом.

Второй закон термодинамики

1. Вероятность, информация, энтропия

Известный писатель Чарлз П. Сноу, физик по первой специальности, предложил в нашумевшей некогда книге «Две культуры» тест на общую культуру, в котором на равных основаниях фигурировали вопросы (для англичан, подчеркнем!) о знании произведений Шекспира и о знании второго закона (или принципа, начала) термодинамики. В первый раз Сноу сделал такое заявление в 1959 г. в почетной Ридовской лекции в Кембридже; хотя, говорят, еще в 1873 г. очередного ридовского лектора предупреждали «не говорить о втором начале термодинамики как о чем-то давно известном культурным людям, которые не слышали даже о первом начале». Сноу, по-видимому, считал, что объяснить его довольно просто, и именно поэтому — к унижению профанов — провозгласил, что незнание Второго начала равносильно незнакомству с Шекспиром. Реакция его коллег по литературе была, как и следовало ожидать, вполне термодинамической: «холодной и отрицательной» — и лишь утвердила Сноу в убеждении, что они неисправимые и косные противники науки.

Особая важность второго закона термодинамики состоит в том, что область его действия отнюдь не ограничивается тепловыми процессами: он является, по сути дела, основой теории эволюции и всей Вселенной, и жизни на Земле, теории хранения и передачи информации, а следовательно — одной из основ таких разных наук как экология, психология и вычислительная техника, разрешает многие давние проблемы философии и т. д. Именно поэтому тест Ч. Сноу представляется вполне обоснованным.

Главная особенность этого закона в том, что он носит вероятностный характер. Попробуем его проиллюстрировать.

Можно задать такой наивный вопрос. Допустим, вы ушли и оставили свою квартиру не убранной: существует ли вероятность того, что к вашему приходу пол сам собой подметется, пыль с мебели исчезнет, а посуда в раковине вымоется?

Для того, чтобы всеобъемлющий характер второго закона термодинамики стал яснее с самого начала, мы нарушим более или менее выдерживавшийся исторический стиль изложения и начнем с общеизвестных истин и простых примеров.

С житейской точки зрения Второй закон термодинамики можно рассматривать как квинтэссенцию пессимизма, как обобщение таких прописных истин:

«Порядок сам собой не сохраняется»,

«Все вещи когда-нибудь ломаются, но никогда сами собой не чинятся»,

«Ломать — не строить» и т. п.

Все эти трюизмы можно было бы обобщить фразой:

«Всякая упорядоченная система, не контролируемая или не подкрепляемая извне, приходит (стремится) со временем к разупорядочиванию»,

которая уже близка к строгой формулировке второго закона.

Но закон не конкретизирует, когда именно произойдет это самое «разупорядочивание», т. е. когда сломаются часы или автомобиль, перемешаются все книги на полке, перестанет работать чье-то сердце, придет в запустение великий город и т. д.

Строго говоря, нельзя сказать, что вероятность такого события точно равна нулю даже в отсутствие домовых и гномиков. Так как атомы — что в пылинке, что на экране телевизора — колеблются хаотически, то в какой-то момент они могут так согласованно дернуться, что пылинка сама полетит в мусорное ведро. Но вероятность этого ничтожно мала.

Точно также сама по себе не склеится поломанная чашка, книги на полках сами не улягутся по порядку, руины не превратятся в прежний дворец, размывтый берег не восстановит формы и т. д. Уже отсюда мы должны сделать такой практический вывод: все процессы в природе идут так, что упорядоченность

вещей уменьшается, хаотичность в целом возрастает (это и есть одна из формулировок Второго начала)²¹.

А теперь такой вопрос. Изучая механику и электричество, мы все время оперируем понятием энергии: если есть энергия, то может быть произведена работа и т. д. Достаточно ли этого понятия для описания всех происходящих явлений, в том числе тепловых?

Рассмотрим такой пример: мячу сообщили два раза одинаковую энергию, но в первый раз его нагрели, передали ему тепловую энергию, а во второй раз его бросили, сообщили ему кинетическую энергию. Ясно, что несмотря на равенство энергий, они могут вести к со-

²¹ Отметим, что уже эти рассуждения доказывают невозможность путешествия в прошлое: в прошлом многие вещи, сейчас поломанные, были целыми. Значит, для восстановления того периода, в котором вы хотели бы появиться, они сами собой должны починиться. Но поскольку это невозможно, то и путешествия назад с его нарушениями причинности (кто-то убивает своего прадедушку и потому не должен появиться в будущем) невозможны — это тоже следствие Второго закона! Особая формальная ценность этого заключения в том, что все законы механики математически обратимы, т. е. в них можно изменить знак времени, что должно соответствовать путешествию в прошлое. Таким образом, только Второй закон возвратил в физику причинность.

вершено различным проявлениям. Какую же нужно придумать характеристику для различения этих случаев?

Давайте вспомним, что все тела состоят из атомов и молекул, и чем выше температура нагретого мяча, тем больше средняя амплитуда и скорость их колебаний в теле. Но у молекул летящего мяча скорость тоже выше: к тепловой скорости колебаний добавляется скорость полета. И вот тут следует уловить разницу: у молекул мяча скорости в основном направлены в одну и ту же сторону, т. е. менее хаотичны, а в нагретом теле они совершенно хаотичны по направлениям, и, нагревая мяч, мы лишь увеличили хаотичность колебаний молекул. Значит, в летящем мяче выше упорядоченность. (По иному можно было сказать, что летящему мячу, помимо энергии, сообщен еще и импульс.)

И еще пример попроще. Из одного и того же количества кирпичей можно построить дворец, несколько барачков или оставить их в куче. Или чуть по-иному: одно и то же количество атомов углерода может при одной и той же температуре, т. е. энергии, составлять кучку сажки, сверкающий алмаз, кусок графита, фуллерены (о которых будем говорить далее). Как и чем измерить их различие? Для этого нужна, очевидно, информация не только о суммарной энергии, но и о степени упорядоченности кирпичей или атомов (потом мы скажем еще о различии в энергиях связи этих элементов).

Фактически эти примеры показывают, что одного только определения количества вещества (и свойств каждого элемента, атома или кирпича) и их суммарной энергии недостаточно для описания множества происходящих явлений: нужно определить еще, как структурированы элементы, на что пошло их количество или их энергия, как изменились вероятности взаимного расположений атомов в теле или кирпичей в строении. Необходима еще и информация о других характеристиках вещества.

Итак, напрашивается следующий вывод: необходимо научиться как-то измерять информацию о внутренних характеристиках сред, веществ, состояний, о взаиморасположении составных частей (мы оставляем в стороне проблемы эстетических оценок и далее будем говорить только о более простых характеристиках).

Для того, чтобы подойти к введению меры информации, рассмотрим такой пример: попробуем сравнить два длинных свитка со знаками или буквами на незнакомом языке. На одном знаки нанесены обезьяной, стучавшей по клавиатуре компьютера, а в другом содержится какой-то осмысленный, возможно, зашифрованный текст. Как, не зная языка, определить, какой текст напечатан обезьяной, а какой — сознательным существом или созданной им программой?

Ответ вы можете легко припомнить: нужно воспользоваться тем, что разные буквы появляются в осмысленном тексте с разной частотой. Так, в английском тексте буква «е» самая частая и встречается в среднем в 258 раз чаще, чем буква «z» (на таком различии основан

Затертые эпитеты («осень золотая», «мудрый вождь») и легко предугадываемый поворот изложения сразу уменьшают информационную ценность статьи или стихотворения, а редкое, или точнее, неожиданное сравнение увеличивают ее. Значит, чем новее, чем неожиданнее сравнение, тем больше его информационная и, как правило, эмоциональная ценность.

рассказ «Золотой жук» Эдгара А. По, родоначальника детективного жанра), в тексте же обезьяны вероятность их появления — одного порядка. А это означает и в более сложных случаях, что, чем текст дальше от беспорядка, от хаоса (при котором все буквы примерно одина-

ково часты), т. е. чем больше в нем организованности, тем больше информации он может содержать.

Итак, чем ниже вероятность произошедшего события, тем более ценна информация о нем. Сообщение, например, о том, что некие малоизвестные А и В ехали в автобусе в центр города, никого не заинтересует, а вот сообщение о том, что с ними вместе была английская королева или что туда их доставили пришельцы с Альдебарана — это сенсация.

Таким образом, можно вывести основной принцип репортажа:

«Чем менее вероятно произошедшее событие, тем важнее (ценнее) информация о нем».

Отсюда уже можно заключить, что мера информации о событии должна быть обратно пропорциональна вероятности этого события.

Клод Элвуд Шеннон (1916–2001) — инженер и математик, основоположник теории информации. Начиная с конструкций электромеханических счетных машин. Ввел понятие информации и разработал методы ее расчета для дискретных и непрерывных систем, установил аналогию между информацией и энтропией, ввел использование двоичной системы и единицы измерения информации (бит).

Теория информации привела к серьезной перестройке таких наук, как психология и лингвистика, значение ее методов в государственном управлении, военном деле, экономике очевидно.

И вот такая странность историко-психологического порядка: хотя все приведенные рассуждения об информации могли быть рассмотрены сотни лет назад, их серьезное обсуждение началось не так уж давно. На основе именно таких соображений Клод Шеннон ввел в 1948 г. в математику понятие меры информации, связанное с вероятностью событий: информация в любом сообщении обратно пропорциональ-

на его вероятности (для удобства расчетов рассматривают не саму вероятность, а ее логарифм, но это не принципиально). На этой основе возникло новое научное направление — кибернетика, основанная Винером.

Итак, понятно, что нужна мера структурной организованности состояния, называемая «информацией», и она должна определяться

вероятностью данного состояния, точнее — быть обратно пропорциональна этой вероятности.

Как от этих достаточно вольных соображений вернуться к физике?

Рассмотрим такой простейший пример упорядоченности и ее (обратимого) восстановления в процессе, точно описываемом физикой. Пусть у нас в сосуде, разделенном пополам перегородкой, находятся по отдельности два газа: гелий и аргон. Если мы вытащим перегородку, газы быстро перемешаются, их упорядоченность исчезнет. А как ее восстановить?

Попробуем рассуждать с позиций закона сохранения энергии: для того, чтобы восстановить прежнее состояние, т. е. снова разделить газы, нужно произвести определенную работу, затратить энергию. Тогда естественнее всего предположить, что при соединении газов это тепло выделяется, т. е. смесь газов нагревается.

Оказывается, что так и есть: при смешении выделяется теплота смешения. Ее величину, деленную на температуру, только выраженную в единицах энергии²², называют энтропией (по гречески, «превращение, поворот в...»). Иными словами, энтропия, умноженная на температуру, показывает затраты энергии, необходимой для восстановления упорядоченности системы.

Поэтому Второй закон можно формулировать и так: энтропия системы никогда сама по себе не убывает (т. е. система сама собой не упорядочивается, сам по себе беспорядок может лишь увеличиваться, в крайнем случае, сохраняться прежним).

Норберт Винер (1894–1964) — известный математик, работал над расчетами сложных электрических систем, рассчитывал в годы войны оптимизацию устройств противозенитной обороны, а затем, занявшись методами расшифровки кардиограмм и другими проблемами кардиологии, решил, что нужно найти нечто общее между техническими системами и живыми организмами. Этим общим, по его мнению, является сбор, хранение и переработка информации, контроль над ее изменениями. Сбор и обработку информации можно, в принципе, делать вручную (так, собственно, и работали некогда статистики), но к тому времени подоспело создание первых электронно-вычислительных машин (ЭВМ), и в задачи кибернетики вошло еще и создание принципиально новых вычислительных устройств и программ их работы.

Ехидный вопрос: когда растет какое-то живое существо, то упорядоченность (и информация) в нем возрастает. Не противоречит ли такое убывание энтропии Второму закону?

Да, действительно: когда организм растет, то атомы и молекулы в нем выстраиваются в каком-то порядке — хаос, или энтропия, уменьшается. Но ведь происходит этот рост за счет переработки питательных веществ, упорядоченность в которых при этом уменьшается. Так что применять Второй закон можно только к замкнутой системе, изолированной от всего окружающего, и только применительно к такой системе можно утверждать, что в ней хаотичность возрастает, энтропия растет!

²² Температуру обычно измеряют в градусах той или иной шкалы, но так как она является мерой кинетической энергии, то в общих рассуждениях часто удобно рассматривать ее в энергетических единицах. Для этого температуру умножают на постоянную Больцмана $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж K^{-1} , введенную и названную так М. Планком, именно такую «энергетическую» температуру мы будем подразумевать в этом разделе.

И эта энтропия, с точностью до ненужных нам множителей, совпадает с логарифмом вероятности, т. е. с мерой информации! Точнее, оказалось удобнее отличать их знаком: меру информации называют иначе негэнтропией, т. е. энтропией, взятой со знаком минус, и поэтому когда информация в системе убывает, то энтропия, мера ее хаотичности, растет.

Остается только пояснить, почему эту самую меру информации или энтропию (логарифм вероятности) нужно умножать на температуру (в терминах энергии). Уже в том примере с разделением газов, о котором ранее говорилось, можно было заметить, что чем выше скорости молекул, тем сложнее отделять их друг от друга; таким образом, умножение величины энтропии на кинетическую энергию каждой молекулы (она пропорциональна температуре) показывает те затраты энергии, ту работу, которая нужна для восстановления порядка в смеси газов.

Теперь можно вернуться к тому как эти понятия возникали в физике.

2. Рудольф Клаузиус

Свой знаменитый анализ работы паровой машины С. Карно проводил на основе теории теплорода. Поэтому его необходимо было избавить от родовых пятен и переформулировать на основе понятий энергии и работы. За эту очень не простую задачу взялся Рудольф Юлиус Эмануэль Клаузиус (1822–1888, это латинизированная форма имени, иначе — Рудольф Готлиб), человек очень организованный, последовательный и упорный в работе. Клаузиусу удалось скрупулезно точно сформулировать принцип эквивалентности теплоты и работы, а проведенный анализ цикла Карно показал, что при получении работы за счет тепловой энергии неизбежны потери этой энергии (ее рассеяние, по выражению У. Томсона), и поэтому коэффициент полезного действия (КПД) реального устройства никогда не может равняться 100 %.

Аккуратно и последовательно рассматривая на основе газовых законов все возможные процессы превращения тепловой энергии в механическую работу, Клаузиус ввел понятия обратимого и необратимого циклов: в обратимом (изоэнтропическом) цикле нет потерь, а в необратимом эти потери неизбежны. Необратимыми являются, например, смешение разных газов или одинаковых газов с различной температурой, расширение газа в пустоту, его сгорание.

Для той части энергии, которая как бы теряется и выпадает из дальнейших процессов, Клаузиус и предлагает название «энтропия», стараясь подобрать слово, наиболее близкое по звучанию к новому тогда еще термину «энергия». После этого Клаузиус формулирует Второе начало термодинамики сначала в частном виде («Теплота сама

по себе не может перейти от более холодного тела к более нагретому», 1850), затем в общей форме, но только для обратимых процессов (1854) и, наконец, для необратимых процессов (1856) в следующем, чрезвычайно бесчисленными дискуссиями выражении: «Энтропия Вселенной стремится к максимуму»²³.

Для обоснования введенных понятий нужно как-то связать их со свойствами частиц, из которых состоят газы, и Клаузиус начинает строить кинетическую теорию газов, т. е. рассматривать все их свойства через столкновения отдельных частиц. (Работы Д. Бернулли столетней давности были практически забыты.) Тут он понимает, что на самом деле скорости и энергии отдельных частиц могут различаться, но делает очень упрощающее предположение, что достаточно рассмотреть средние значения их скоростей или кинетической энергии и на этой основе определить среднюю длину свободного пробега частиц между последовательными столкновениями (соударениями), т. е. фактически определить сферу их взаимодействия, а отсюда и величину давления газа на стенки сосуда. Такой подход позволяет ему переписать в современной форме уравнение Ван дер Ваальса, т. е. связать введенные коэффициенты со взаимодействием молекул газа (мы уже указывали, что такие исследования продолжаются и сейчас).

Важнейшую роль и сейчас играет уравнение Клапейрона—Клаузиуса, связывающее, хотя и не совсем точно, скрытые теплоты фазовых переходов с термодинамическими параметрами среды.

3. Джеймс Кларк Максвелл: статистическая физика

Основная ткань исследования — это фантазия, в которую вплетены нити наблюдения, рассуждения, измерения и вычисления.

Дж. К. Максвелл

По опросам физиков о роли ученых в построении нашей науки, первые три места определяются обычно так: Эйнштейн, Ньютон, Максвелл. При этом основной заслугой Максвелла принимают, как правило, построение теории электромагнитного поля, но даже если бы он никогда

²³ Из такого положения вытекает, что Вселенная не могла существовать вечно, ибо так же, вечность тому назад, должна была прийти к тепловой смерти. Еще ранее, из-за эффекта «рассеяния тепла», У. Томсон (Кельвин) и Г. Гельмгольц делали вывод о неизбежной «тепловой смерти» Вселенной. Широкое обсуждение проблемы стимулировалось и появлением теории эволюции Дарвина в 1858 г. (Обсуждение проблемы тепловой смерти продолжим в рассказе о космологии.)

ничего не писал о полях, его роль в создании статистической физики все равно выводила бы его в первые ряды гениальных физиков.

Джеймс Кларк Максвелл (1831–1879)²⁴, шотландец, воспитывался дома под руководством отца (мать рано скончалась), образованного и обеспеченного джентльмена, любителя наук, полностью посвятившего себя воспитанию единственного сына. Увлекался в детстве строительством моделей, чтением, писал шуточные стихи. В 14 лет придумал методы черчения эллипсов (метод Максвелла — вычерчивание эллипса с помощью двух булавок, воткнутых в стол, и накинутой на них петли из нитки — стал общепринятым) и других кривых. Первую его статью зачитывал на заседании Эдинбургского королевского общества сам председатель — автор был слишком юн. Затем Максвелл учился в университетах Эдинбурга и Кембриджа, отнюдь не избегая радостей студенческой жизни того времени.

В 1859 г. Максвелл фактически основывает статистическую физику (само название он предложил в 1878 г.): он понимает, что не всегда можно ограничиваться рассмотрением только средних скоростей движения молекул газа, как это делал Клаузиус. Поэтому он разбирает вопрос об их распределении по скоростям, т. е. вводит в физику понятие вероятности как обоснование и способ расчета значений термодинамических величин.

Для чего это нужно? В статистике народонаселения, например, важно знать не только средний доход граждан, но и то, сколько из них живет много лучше среднего уровня, каков процент бедных и т. д., или знать не только средний возраст жителей, но и количество школьников и пенсионеров по-отдельности. В физике положение сходное: нужно, например, выяснить какая часть молекул из общего их количества имеет скорости, достаточные для осуществления химических реакций и т. п. Вот такого рода вопросы и может решить распределение Максвелла, ставшее образцом для построения других статистических теорий.

Необходимо отметить, что первый вариант этого распределения он вывел, будучи студентом, прямо на экзамене в ответ на вопрос, заданный ему известным физиком Стоксом, который сам до того пытался, но не смог вывести распределение молекул по скоростям.

В теории Клаузиуса учитывались только кинетические энергии молекул как некоторых шариков, бесструктурных частиц. Но Максвелл понимает, что эти «шарики» могут иметь какую-то структуру,

²⁴ Замечание для поклонников нумерологии: Ньютон родился в год смерти Галилея, предположения которого он развил, Эйнштейн — в год смерти Максвелла, теории которого смог обобщить.

и поэтому часть энергии может идти, например, на вращения атомов, образующих молекулы, превращаться в энергию относительных колебаний их составляющих. Поэтому Максвелл уточняет понятие «степеней свободы» молекул: каждая молекула газа имеет три поступательные степени свободы (в соответствии с тремя возможными направлениями импульса), сверх того она может иметь степени свободы вращения вокруг своих осей симметрии (если они есть), а также степени свободы колебаний своих составных частей — и на каждую такую степень свободы приходится одинаковая энергия.

Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы (этот закон позже уточнен Больцманом) является основой всего статистического подхода к тепловым явлениям, он позволяет не ограничиваться газом атомов или простейших молекул, как приходилось делать Клаузиусу, а рассматривать любые их композиции.

Максвелл уверен в справедливости Второго закона термодинамики. Он выражает его суть так: «Второй закон настолько же справедлив, как утверждение о том, что вылив в океан стакан воды, вы никогда не сможете заново собрать ту же воду в свой стакан».

Затем Максвелл рассматривает проблемы физической кинетики, т. е. движения и соударения молекул. Здесь ему удастся начать построение теории явлений переноса (иногда их называют транспортными процессами). Основными для этой теории являются три свойства газов и жидкостей: 1) теплопроводность, т. е. передача энергии среде; 2) вязкость, или внутреннее трение, т. е. замедление течения или вращения газа или жидкости, связанное с передачей среде части импульса; 3) диффузия, т. е. передача из одной среды в другую массы, обусловленная, как мы теперь знаем, переходом атомов или молекул из одной среды в другую, проникновением их в межмолекулярные промежутки второй среды. (Все эти явления изучаются, конечно, и в физике твердого тела, но мы ее не рассматриваем.)

Как можно измерить вязкость? Естественно поступить таким образом: будем пропускать газ или жидкость через длинную тонкую и прямую капиллярную трубку; если давление на одном конце больше, чем на другом (когда трубка стоит вертикально такое давление определяется высотой столба, весом находящегося в ней вещества), то в ней возникает течение. Тогда вязкость определяется как величина, обратно пропорциональная скорости течения.

Вязкость оказалась (и продолжает оставаться) «твердым орешком» для физиков. Так, оказалось, что существуют три свойства этого явления, которые как бы противоречат физической интуиции. Во-первых, интуитивно можно было предположить, что поскольку вязкость

жидкости примерно в 100 раз больше вязкости газов, то вязкость газов должна возрастать с увеличением их плотности — однако на опыте оказалось, что она не зависит от их плотности. Во-вторых, по аналогии с жидкостью можно было предполагать, что вязкость газов должна убывать с ростом температуры (вспомним как облегчается переливание меда при нагревании) — но оказалось, что она растет. В-третьих, можно было думать, что при добавлении к вязкому газу другого газа с меньшей вязкостью их общая вязкость уменьшится (добавление воды к сиропу понижает вязкость смеси) — однако оказалось, что если, например, к углекислому газу добавить водород (его вязкость мала), то вязкость смеси только возрастает!

Первые два из этих противоречий разрешил Максвелл. Вязкость газа зависит, по его теории, не только непосредственно от плотности, но и от той длины, которую пробегает молекула между столкновениями, а эта длина, естественно, уменьшается с ростом плотности (столкновения происходят чаще). Поэтому зависимость от плотности в целом сокращается, и вязкость перестает от нее зависеть (для очень сжатых или сложных газов такая зависимость, конечно, снова возникает). Вероятность столкновений возрастает с увеличением скорости молекул, а значит, и температуры, поэтому вязкость растет с температурой.

Максвелл, как и Фарадей, был глубоко религиозен: он даже выступал против теории эволюции Дарвина, считая, что жизнь не могла появиться сама — она должна была быть сотворена. Но религиозность или ее отсутствие никогда не влияли на научную деятельность. Так, квантовую механику создавали глубоко религиозные Планк и Гейзенберг, довольно индифферентные к религии Шредингер и де Бройль, агностик Эйнштейн, пламенный атеист Дирак — и все они глубоко уважали друг друга.

Получив такие результаты, Максвелл решает проверить их экспериментально — дома, с помощью только жены. Для этого он придумывает такой прибор: в замкнутом сосуде с газом раскручивается диск на оси и измеряется время его остановки. (Этот диск используется для измерения вязкости до сих пор, в 1951 г. именно на нем Э. Л. Андроникашвили, наш преподаватель, провел известные опыты по определению вязкости жидкого гелия.)

Но Максвелл занят не только этими проблемами (и электродинамикой, которой будет посвящен специальный раздел ниже): он не может пропустить мимо ничего из того, что видит. Так, вспоминая свои детские увлечения, строительство моделей, в том числе паровой машины Уатта, он разрабатывает теорию регулятора Уатта и поэтому считается, в числе прочего, классиком теории автоматического регулирования.

В то же время Максвелл с удовольствием выступает с популярными лекциями, пишет статьи и превосходную книжку по элементарной физике, придумывает и сам строит остроумные модели для

таких лекций. Так, до сих пор используются волчки Максвелла: на их диск наносятся сектора разного цвета, которые при вращении складываются, и так доказывается, в частности, сложный состав белого цвета, дополнительность некоторых цветов и т. д. А в 1861 г. он осуществил и продемонстрировал первую в мире цветную фотографию (сложением на экране трех изображений в трех основных цветах)! Превосходны его модели крутящихся и поднимающихся из-за этого вверх волчков: создается впечатление, что ему нравится играть и увлекать этими играми других.

Мы уже писали о том, что Максвелл посвятил несколько лет разбору, воспроизведению и публикации опытов Г. Кавендиша. Поэтому он руководит организацией и строительством при Кембриджском университете Кавендишской лаборатории (целых три года!) и становится ее первым директором. (Лаборатория открывается в 1874 г., теперь Максвелл мог бы ставить в ней и собственные опыты, которые ранее приходилось проводить дома.) После него пост директора занимали такие великие ученые как лорд Рэлей, Дж. Дж. Томсон, Э. Резерфорд, затем Л. Брэгг, Н. Мотт, Б. Пипард, в этой лаборатории не только были сделаны эпохальные физические открытия — в ней, в частности, была разработана теория наследственного вещества, ДНК, и проведены другие биологические исследования.

Примерно тогда же в 1875 г. Максвелл высказывает совершенно еретическую для того времени мысль: он считает, что атом — это не просто неделимый шарик, он должен обладать некоей внутренней структурой. Но Максвелл полностью занят своими обязанностями: директорство, разбор рукописей Кавендиша, — а жить ему осталось очень мало...

Если можно было бы проводить сравнения с гениями искусства, то Максвелл — это Моцарт или Рафаэль физики. Кажется, что он все делает как бы играючи, легко и непринужденно. О нем его коллеги писали, что он был единственным ученым в истории, у которого нет и не могло быть ошибок в работах: «Он просто не умел ошибаться!». Чтение статистических работ Максвелла Л. Больцман сравнивал с прослушиванием симфонии с интродукцией, блистательным развитием темы и неожиданным, но оглушительным финалом, когда все вдруг становится на свои места.

4. Вечные двигатели

Вечным двигателем называется устройство, которое, будучи однажды приведено в движение, продолжило бы это движение непрерывно без затрат дополнительной энергии и позволило бы использовать дополнительно получаемую энергию в других устройствах.

Ни преподавание принципов термодинамики в школьных курсах, ни бесчисленные публикации, рассказывающие о невозможности вечных двигателей и высмеивающие их изобретателей, не могут полностью уничтожить это экзотическое племя. Автору не раз приходилось сталкиваться с его представителями вживую: все они, как правило, пишут (или, возможно, писали раньше) письма в правительство с обещаниями неслыханно поднять промышленность, обороноспособность или сельское хозяйство и т. д. Такое письмо из правительства направляется в Академию наук («разобраться и доложить!»), по инстанциям доходит до дежурного на этот раз физика-теоретика: отвечать нужно, и возможности так, чтобы не ввязываться в переписку и не вызвать обвинений в хамстве...

Хорошо еще, если предлагают проект именно вечного двигателя. А то сейчас приходится иметь дело с более «образованными» изобретателями-ниспровергателями основ: то кто-то, видите ли, радикально усовершенствовал цикл Карно, обнаружил потоки некоей энергии из каких-то «геопатогенных зон» или из собственной ванной комнаты, изобрел какие-то совершенно оригинальные микролептоны или скукоженность пространства и т. д. и т. п. Тяжко!

мают патентные агентства других стран. Ну а с утверждением закона сохранения энергии вопрос об устройствах, черпающих энергию ниоткуда, о вечных двигателях первого рода, казалось, отпал навсегда.

Но тут науку начали захлестывать вечные двигатели второго рода, которые вовсе не нарушают закон сохранения энергии. И по-видимому, первый проект рассмотрел... сам Максвелл — он ведь умел шутить!

Мы уже знаем, что молекулы в газе имеют разные скорости, больше и меньше средней, так попробуем использовать эту их особенность. Возьмем, например, два одинаковых закрытых сосуда с газом при одной и той же температуре и соединим их трубкой, а в трубке устроим клапан и поставим около него «сторожа» с таким заданием: если слева подлетает быстрая молекула, то сторож пропускает ее вправо, а если медленная, то не пропускает; с правой стороны, наоборот, влево пропускает только медленные молекулы, а быстрые

Такие устройства изобретались неоднократно. Насколько известно, первое устройство этого типа было разработано и даже как будто построено в XIII в. французским архитектором Виларом Хоннекурором. Более известны машины, построенные Эдвардом Сомерсетом, маркизом Ворчестерским (1601–1667), и Дж. Э. Э. Бесслером-Орфиреусом (1680–1745). Обе они внушали большие надежды, так как продолжали работать в течение долгого времени. Казалось, еще чуть-чуть постараться, уменьшить трение, использовать другие материалы — и мечты осуществляются. Однако ничего не получалось...

В 1775 г. Академия наук Франции постановляет, что впредь никакие проекты вечных двигателей рассматриваться не будут²⁵. Вскоре аналогичные постановления принима-

²⁵ Стоит отметить, что одновременно Академия приняла и другое постановление: впредь не будут рассматриваться никакие сообщения о будто бы падающих с неба камнях (метеоритах), потому что им неоткуда взяться на небе — вспомните поговорку: «От великого до смешного — один шаг».

отгоняет. Таким образом в правом сосуде концентрируются быстрые молекулы, в левом — медленные, т. е. возникает разность температур, на которой может работать какое-нибудь устройство, например, термоэлемент, дающий ток.

Итак, если сторожа — их называют «демонами Максвелла» — будут исправно работать, то можно получить вечный источник работы без нарушений закона сохранения энергии. При этом, правда, нарушается второй закон термодинамики, т. е. эти самые демоны, проводя сепарацию молекул по скоростям, восстанавливают некоторую их упорядоченность.

Конечно, детальные расчеты всех возможных конструкций «демонов» показывают, что затраты энергии на них всегда больше возможных выигрышей от их работы. Поэтому оба принципа термодинамики²⁶ могут формулироваться так:

1. Вечный двигатель первого рода невозможен.
2. Вечный двигатель второго рода невозможен.

5. Людвиг Больцман

Теперь от классически ясного гения Максвелла нужно перейти к трагической истории Людвигу Больцману (1844—1906), его научного наследника и продолжателя. Больцман как бы явился для того, чтобы создавать проблемы для окружающих и для самого себя, ставить неразрешимые вопросы, создавать парадоксы и инициировать вековые дискуссии.

Основная сложность, с которой столкнулся Больцман и с которой ему пришлось воевать всю жизнь, — это обоснованность вероятностного подхода к описанию явлений природы. И возражения его противников психологически были вполне объяснимы: физики всегда гордились тем, что их наука может с любой степенью точности рассчитать все, что может произойти, а тут, видите ли, идет разговор о том, что может произойти почти все что угодно, и можно лишь оценить вероятности того или иного будущего состояния — не наука, а какая-то карточная игра (даже сейчас,



²⁶ Заметим, что обычно вводится еще и третий принцип термодинамики: *Энтропия любой системы при абсолютном нуле стремится к нулю*. Смысл его в том, что при абсолютном нуле все движения, зависящие от температуры, должны быть заморожены. Принцип этот ввел Вальтер Нернст (1864—1941), лауреат Нобелевской премии по химии (1920).

и притом даже некоторые математики, считают вероятность чем-то нестрогим, ненаучным, приблизительным).

Поэтому можно сказать, что Больцман поневоле восстал против старой парадигмы Ньютона и Лапласа о строгом и всеобъемлющем характере физических законов, позволяющем производить точные расчеты будущего. И ему пришлось выдержать немало битв, но он не отступал и на одной из последних своих лекций сказал: «Таким образом, я предстаю перед вами как реакционер, человек отсталый и, в отличие от людей сегодняшних, сохранивший верность старым классическим доктринам».

Вопрос существования или не существования атомов был в то время, скорее, вопросом интуиции или веры: прямое доказательство, как увидим, следует только из работ Эйнштейна и Смолуховского 1905 г. Если атомов нет, то все рассуждения о статистической физике не верны, если же атомы существуют и их действительно так много, то рассчитывать их характеристики можно только статистически.

Больцман всею душой поверил в мощь выдвинутой Максвеллом идеи вероятностного рассмотрения газовых законов (напомним еще раз, что такая идея в первый раз, но на слишком ранней ступени развития как физики, так и теории вероятностей, была предложена Д. Бернулли). Поэтому он начинает с пересмотра и уточнения максвелловского распределения молекул по скоростям, учитывая при этом и их потенциальную энергию (распределение Больцмана, 1866).

При этом Больцман встречается с такой трудностью: как определить, например, среднее значение скорости молекулы? Здесь есть формально две возможности: можно записывать в течение долгого времени величины скорости одной молекулы, а затем взять их среднее значение (усреднение по времени), а можно в один какой-то момент времени записать скорости большого числа молекул и так определить их среднее (усреднение по ансамблю). Всегда ли эти два метода дадут одну и ту же цифру?

Больцман выдвигает так называемую эргодическую гипотезу (1871): эти средние значения равноценны! И вот уже почти полтора века идут поиски доказательства этой гипотезы — ее справедливость доказана пока только для некоторых частных случаев: дело в том, что такое предположение необходимо не только в кинетической теории газов, оно является базисным для практически всех применений теории вероятностей и фактически вылилось в специальный раздел математики.

В 1872 г. Больцман выдвигает так называемую H-теорему: он строит некоторую функцию для неравновесного, т. е. могущего изменяться состояния газа (этим начинается построение неравновесной термо-

динамики, до того рассматривались только равновесные состояния), и показывает, что эта функция, близкая к понятию энтропии, со временем может только убывать. В его уравнение входит производная этой функции, и таким образом определяется понятие производства энтропии, скорости ее роста со временем.

Свое кинетическое уравнение Больцман вывел из законов механики, а эти законы допускают изменение знака времени, т. е. на равной основе можно, зная скорости и положения всех частиц, рассчитать как их поведение в будущем,

так и то, как они себя вели в прошлом. Как же из таких обратимых уравнений получается необратимое уравнение, в котором энтропия только и только растет? И вот вам второй парадокс (парадокс Лешмида—Цермело), фактически следующий из первого: существует знаменитая теорема возврата Анри Пуанкаре (о нем еще будем говорить), согласно которой механическая система должна — время не оговаривается — пройти через все состояния, допускаемые законами сохранения. А Больцман говорит о необратимых изменениях, соответствующих росту его H -функции!

Больцману приходится отбиваться — он безусловно верит в справедливость Второго закона и потому дает вероятностную трактовку всем эти понятиям: он определяет энтропию через вероятность состояний системы²⁸, т. е. показывает как рассчитать сколько разных возможностей (скоростей и координат) существует для молекул газа при данной температуре. На этой основе он показывает, что Второй закон носит вероятностный характер: на лекции Больцман кладет на стол кирпич и вычисляет вероятность того, что все его атомы дернутся в одну сторону и кирпич сам собой полетит вверх.

²⁷ О нынешнем накале страстей в связи с работами Пригожина хорошо говорят слова известного итальянского физика Карло Черчиньяни в его книге о Больцмане: «Блестящий стилист, Пригожин лишет фразы, которые могут понравиться по душе философам, неспециалистам и, к сожалению, некоторым ученым, но информированных ученых озадачат».

²⁸ На памятнике, установленном на могиле Больцмана, высечена эта формула, правда в форме, приданной ей позже Максом Планком (возможно поэтому на могиле М. Планка тоже высечена его основная формула).

Н-теорема Больцмана до сих пор является основой построения неравновесной термодинамики и до сих пор вызывает яростные споры. В частности, в последние годы против нее и с новой трактовкой всей проблемы необратимости выступал известный бельгийский физик и физико-химик Илья Романович Пригожин (1917–2003, родился в Москве, Нобелевская премия по химии 1977): он развивал теорию самоорганизации сложных систем из хаоса, в том числе столь сложных, которые привели к возникновению жизни. По теории Пригожина, с которой далеко не все согласны²⁷, вероятность возникновения, скажем, сложных органических молекул при столкновениях атомов много выше, чем по теории Больцмана, и поэтому отпадает давняя загадка о том, могла ли самостоятельно зародиться жизнь на Земле.

Противники Больцмана считали, что вся природа — это огромная система энергетических потоков, их описание и есть предмет науки, а все остальное излишне (некоторые философы небрежно, просто по ходу рассуждений и без обоснований, сообщали, что вообще не стоит говорить и о материи — есть ведь понятие энергии). Можно думать, что особой популярности такого образа энергии способствовало появление энергетических и осветительных электрических систем в 1900-х гг., Оствальд даже свою виллу назвал «Энергия». Бойцовский темперамент Больцмана не позволял ему, в отличие от других физиков, пропускать мимо ушей нападки на его детище, но они, конечно, расшатывали его нервную систему: не раз высказывалась догадка, что эти последние битвы и привели его к самоубийству.

Следующим предметом возражений против взглядов Больцмана является вопрос о тепловой смерти мира: мы уже говорили, что этот вопрос возник даже ранее полной формулировки Второго закона термодинамики — когда же мир должен прийти к полному равновесию, т. е. когда во всех его частях должна установиться одна и та же температура и почему до сих пор этого не произошло? Больцман обходит эту проблему так: да, конечно, мир должен прийти к тепловому равновесию, но могут ведь существовать и флуктуации (от латинского

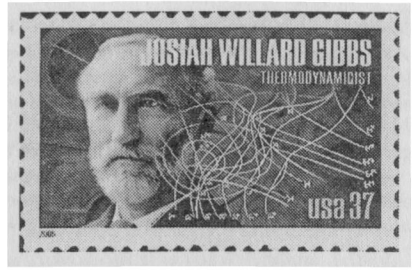
«флуктуацио» — колебания), временные случайные отклонения от состояния равновесия. Вот весь наш мир и является такой гигантской флуктуацией — ответ не очень вразумительный, но лучший был дан только в общей теории относительности.

И наконец, самая ожесточенная дискуссия, выпавшая на его долю, — дискуссия о реальности существования атомов: в самом начале XX в. «гипотеза» существования атомов отнюдь, как это ни странно выглядит сейчас, не казалась необходимой. Многим ученым казалось, и они все еще имели на то основания, что без нее, без каких-то невидимых составляющих, вполне можно обойтись: не стоит вводить новые сущности без абсолютной к тому необходимости (этот принцип называется «бритвой Оккама» в честь предложившего его средневекового философа). Поэтому против нее резко возражали не только модные тогда философы, но и знаменитый физик Эрнст Мах, и выдающийся физико-химик Вильгельм Оствальд (1853—1932, Нобелевская премия по химии 1909), автор теории электролитической диссоциации и химической кинетики — реальность существования атомов он признал только в 1908 г., Э. Мах — даже несколько позже.

6. Джозайя Уиллард Гиббс

Человек, который мог бы помочь Больцману в его сражениях, жил по другую сторону Атлантического океана и обладал совершенно иным темпераментом — это Джозайя Уиллард Гиббс (1839—1903). Он родился и всю жизнь провел в городке Нью-Хейвен (исключая три года учебы в университетах Европы, куда он поехал с сестрами), так что

его дом, колледж, где он учился, Йельский университет, где преподавал, и кладбище, на котором упокоился, находились все на расстоянии нескольких сот метров друг от друга. Жил он вместе с двумя бездетными сестрами и мужем одной из них, был исключительно пунктуален, всегда идеально аккуратен и доброжелателен.



Начинал он с преподавания латыни и только потом получил кафедру математики, свои работы печатал в местном журнале, который почти никто не читал, а известен стал только незадолго до смерти. Гиббс даже не был членом Американского физического общества и никогда не выступал со своими работами на научных совещаниях: творил он, казалось, только для себя — его жизнь протекала в идеальной, как сказали бы поэты, «башне из слоновой кости» — хотя всю значимость своих работ он великолепно понимал. В отличие от почти всех современников, Гиббс очень мало писал, так, за целых 13 лет (с 1890 по 1903 г.) он написал всего восемь небольших статей и одну книгу.

Гиббс стал основателем химической термодинамики. До него рассматривались лишь однофазные и однокомпонентные системы с постоянным числом частиц, а он сумел обобщить эти понятия на широкий круг систем.

Одним из самых замечательных его исследований стало правило фаз (1875–1878). Фазами, по Гиббсу, называются различные агрегатные состояния вещества: твердое, жидкое, газообразное; число их, которое одновременно присутствует, — это число термодинамических степеней свободы данной системы. Если же имеется смесь веществ (обозначим их число буквой C), и каждое из них может присутствовать в разных фазах, то общее число степеней свободы системы может быть достаточно большим (обозначим его число буквой P). Буквой же F обозначим число независимых переменных, описывающих систему (это так называемые интенсивные переменные: давление, температура, процентный состав смеси). С этими переменными правило фаз Гиббса определяется формулой: $F = C - P + 2$.

Посмотрим, что это правило означает. Пусть имеется одно вещество в единственной фазе (безразлично — твердой, жидкой или газообразной), т. е. $C = P = 1$, тогда его состояние определяется двумя параметрами, например температурой и давлением, которые могут принимать любые значения. Но если фаз две (например, вода и лед), то свободным остается только один параметр, т. е. при заданном давлении

Гиббс представил свои результаты в очень практичной и удобной для расчетов геометрической форме (иногда их выделяют в геометрическую термодинамику), поэтому его диаграммы до сих пор широко используются при расчетах свойств сплавов и химических соединений. (Отметим, что его первые труды по таким диаграммам успел заметить Максвелл, повторил их, использовал в своей работе и очень тепло благодарил за них Гиббса незадолго до смерти.)

существует только одна строго определенная температура, при которой обе фазы могут находиться в равновесии. А вот если таких фаз три (лед, вода, пар), то никакой свободы уже нет: есть единственная комбинация температуры и давления, так называемая тройная точка, при ко-

торой все три фазы находятся в равновесии (для воды $+0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ при соответствующем давлении).

В 1902 г. публикацией книги «Основные принципы статистической механики» Гиббс завершил создание классической статистической физики.

7. Броуновское движение: Эйнштейн и Смолуховский

Первые работы Альберта Эйнштейна относятся к статистической физике: не зная работ Гиббса, он, независимо, к 1904 г. в значительной степени их воспроизвел. При этом, конечно, полного совпадения

А. Эйнштейн изобрел и запатентовал целый ряд новых технических устройств, например (совместно с Л. Сциллардом) практичный электрохолодильник, работающий без электромотора.

и не могло быть. Так например, Эйнштейн вводит, наряду с механическими степенями свободы, также и электромагнитные степени свободы: каждое изо-

лированное тело должно содержать такой случайный электрический заряд, энергия которого в среднем равна, при данной температуре, энергии любой механической степени свободы. На использовании этих зарядов сначала сам Эйнштейн, а позже А. Ф. Иоффе пытались даже построить электрические генераторы нового типа.

Заинтересовавшись молекулярно-кинетической теорией, Эйнштейн обдумывает, как наглядно доказать существование атомов и молекул, проводит соответствующие расчеты, а потом узнает, что такое явление... известно уже около 80 лет, но до сих пор количественно не объяснено (качественное объяснение предложил еще в 1876 г. известный физикохимик Р. У. Рамзай).

А история здесь такова. Известный ботаник Роберт Броун описал в 1827 г. наблюдаемое в сильный микроскоп хаотическое движение мелких частиц в воде. Началось все с того, что он изучал пыльцу растений под микроскопом, а для того чтобы она не разлеталась, помещал ее в каплю воды. Движение частиц пыльцы доказывало, по его

тогдашним убеждениям, что она относится к животному миру, и что растения теряют способности к движению по мере роста. Но затем он решил как-то окрасить частички пыльцы и для это-

Еще в 1900 г. математик Луи Башелье провел аналогию между броуновским движением и колебаниями цен на финансовых рынках. В 1923 г. аналогия с броуновским движением позволила Норберту Винеру построить теорию случайных процессов, сейчас широко применяемую в физике, биологии, экономике и т. д.

го очень тонко растолок краску, кармин. И вдруг оказалось, что частички кармина так же «танцуют» в воде, как и клетки пыльцы. Рассказывают, что в поисках объяснения богобоязненный Броун дошел до такого святотатства, что размолот крошку мощей какой-то святой, чтобы исследовать, не дух ли святой вызывает эти движения неживых частичек. Но все, абсолютно все частички одинакового размера «танцевали» одинаково. Объяснения не было, и Броун так и опубликовал свое сообщение без него.

Точное объяснение последовало только в 1905 г., и дали его в том знаменательном для науки году Альберт Эйнштейн и, независимо, Мариан Смолуховский (1872—1917), ученик Больцмана: частички пляшут потому, что их хаотично ударяют молекулы воды, и именно этот эффект впервые точно доказывает самое существование молекул. Эту теорию экспериментально проверил Жан Батист Перрен (1870—1942, Нобелевская премия 1926) и отсюда определил число Авогадро, т. е. количество атомов в грамм-молекуле вещества, массу атомов и т. д.

Так была наконец разрешена многовековая проблема непрерывности или дискретности вещества, т. е. показано наличие некоторых частиц, последних кирпичиков, сохраняющих его характеристики. Далее возникла новая проблема: расщепление этих самых, казалось бы, последних «кирпичиков» и выяснение их структуры и свойств.

Будет ли когда-нибудь завершен этот поиск?

8. Неравновесные процессы: Онсагер

Три закона классической термодинамики описывают взаимосвязь между свойствами систем в состоянии равновесия. В них ничего не говорится о времени или скоростях реакций. Согласно первому началу термодинамики (закону сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам) энергия одного вида может быть превращена в энергию другого вида, но не может появляться или исчезать. Второе начало термодинамики определяет, может ли та или иная химическая реакция происходить спонтанно, и устанавливает энтропию (меру беспорядка) системы. Третье начало термодинамики описывает расчет констант равновесия.

Но это не исчерпывает всех возможностей. Когда, например, холодный кусок сахара растворяется в горячем чае, тепло переходит от горячего тела к холодному, и в то же время молекулы сахара растворяются в жидкости. С помощью статистической механики, основанной на законах движения, Ларс Онсагер (1903—1976, Нобелевская премия по химии 1968) показал, как одновременно протекающие реакции влияют друг на друга, что описывается его соотношениями взаимности. Он также доказал, что соотношения взаимности представляют собой математический эквивалент более общего принципа: скорость возрастания энтропии в связанных необратимых процессах минимальна.

Его теоретическое описание необратимых процессов, опубликованное в 1931 г., не было в то время воспринято всерьез. Более того, когда он представил эту работу в Норвежский технологический институт в Тронхейме в качестве докторской диссертации, она была признана неприемлемой. Но со времени окончания Второй мировой войны эти соотношения (в настоящее время иногда называемые четвертым началом термодинамики) начали получать признание благодаря тому значению, какое они имели для физики, химии, биологии и технологии.

После переезда из Норвегии в США в 1928 г. Онсагер был назначен преподавателем химии в университете в Балтиморе. Обучая первокурсников, он обнаружил, что не в состоянии читать лекции на том элементарном уровне, какой для них подходит, и вскоре был уволен. А когда он читал лекции в Университете Брауна в Провиденсе (штат Род-Айленд), его студенты в шутку называли этот курс «первый норвежский усложненный». После ликвидации должности, которую он занимал, Онсагер поступил работать на химический факультет Йельского университета, но вскоре администрация обнаружила, что у него нет степени доктора философии. Химический факультет предложил, чтобы Йельский университет присудил Онсагеру эту степень за новую статью, где он излагал математические обоснования своих исследований слабых электролитов. Кафедры химического и физического факультетов заявили, что они недостаточно компетентны, чтобы оценить эти тезисы, и передали их на математический факультет. Только в 1935 г. Онсагеру была присуждена докторская степень по химии.

Свои знаменитые соотношения он первоначально не публиковал, а написал их во время доклада на доске: они цитировались еще до выхода статьи.

Волновая оптика

1. Корпускулы или волны?

В главе о Ньюtone мы упомянули о его теории света как потока очень малых частиц, «корпускул» (в переводе с латыни — частичка). Еще ранее Р. Гук пытался объяснить свет как быстрые колебания, распространяющиеся в какой-то среде, но он не смог вывести отсюда законы отражения и преломления и объяснить появление разных цветов.

Христиан Гюйгенс восхищался экспериментальной стороной работ Ньютона по оптике, но резко выступил против их объяснения как потока корпускул. Гюйгенс выставляет такие возражения против теории Ньютона:

- 1) если свет — это поток корпускул, то он не может распространяться прямолинейно в среде, так как корпускулы должны испытывать отклонения, притяжения к частицам среды;
- 2) если свет — это поток корпускул, то два пучка света не могли бы свободно пересекаться, проходить друг через друга — корпускулы должны были бы друг с другом взаимодействовать²⁹.

А в пользу волновой теории, по Гюйгенсу, говорит то, что:

- 1) огонь и его пламя светятся, но они, очевидно, состоят из быстро колеблющихся частиц, которые могут, вследствие своих колебаний, возбуждать волны, поэтому и свет должен быть волновым процессом;
- 2) свет, сконцентрированный зеркалом, способен сжигать предметы, т. е. разъединять их части, приводить их в движение относительно друг друга, и это «служит убедительным признаком движений, по крайней мере, для истинной философии». Эти и схожие аргументы, говорит Гюйгенс, показывают, что «нельзя сомневаться в том, что свет состоит в движении какого-то вещества».

²⁹ Интересно заметить, что оба эти возражения сейчас могут быть сняты. Оба явления: «притяжение» к частицам вещества и влияние двух потоков друг на друга — существуют, но становятся заметными только при очень больших интенсивностях, в те времена недостижимых. Так что критика Гюйгенса, в принципе, неправильна!

Теперь, естественно, возникает вопрос: что это за вещество, точнее, что это за среда, колебаниями которой передаются световые волны? Световые волны могут рассматриваться по аналогии со звуковыми волнами, но звук — это известно со времен Отто фон Герике — не проходит через пустоту, а свет — проходит! Поэтому необходимо предположить существование какой-то особой, очень тонкой материи, эфира, заполняющего всю Вселенную, волны в котором и являются светом.

Как же возникают волны в эфире? Гюйгенс начинает с рассмотрения пламени. Каждая горящая частица, каждая колеблющаяся точка

Существование некоего эфира постулировали еще философы Древней Греции. Напомним, что в ходе становления физики неоднократно вводили разные «тонкие материи» для объяснения тепловых, электрических и магнитных явлений.

пламени заставляет колебаться частицы окружающего эфира, т. е. создает свою собственную волну, а каждая частица эфира, которой достигла эта волна, начинает в такт с ней колебаться и поэтому становится, в свою очередь,

центром другой, меньшей волны. Поэтому волновое движение распространяется так же, как распространяется пламя, от частицы к частице с помощью вторичных (сферических) волн. Сейчас мы сказали бы, что энергия каждой из последующих волн очень мала, но так как эти волны приходят со всех точек первоначальной волны, то они суммируются у нас в глазу — это и есть главный принцип, введенный Гюйгенсом: в итоге сложения всех вторичных волн остается только их огибающая (как бы суммирующая их импульсы).

При таком подходе уже нет необходимости в световых лучах, пропадает наглядность изображения луча как прямой линии, но Гюйгенс выводит на основе своего принципа сложения вторичных волн законы отражения и преломления волн.

Казалось бы, по аналогии со звуком, содержащим разные частоты, и анализом, проведенной еще Пифагором, Гюйгенс должен был бы рассмотреть так разные цвета (наше ухо раскладывает звуки по их тону, т. е. по частоте, призма аналогично раскладывает белый свет), но он не считает свою теорию универсальной и пишет, что «явление окрашивания остается еще весьма таинственным из-за трудности объяснения этого разнообразия цветов с помощью какого-либо физического механизма». Поэтому он вообще не рассматривает проблемы цвета.

Зато Гюйгенс сумел рассмотреть такое явление. В 1669 г. Эразм Бартолин из Копенгагена обнаружил, что луч света, проходящий через кристалл исландского известкового шпата, раздваивается — один из этих лучей позднее был назван обыкновенным, а второй — необыкновенным, причем существует только одно направление, вдоль

которого такого разделения не происходит (открытие двойного лучепреломления положило начало новому направлению исследований — кристаллооптике). Повторяя наблюдения Бартолина, Гюйгенс обнаружил чрезвычайно важную их особенность: обыкновенный луч, выпущенный из одного кристалла и пущенный в направлении необыкновенного луча второго кристалла, полностью им гасился, и наоборот, в направлении обыкновенного луча не проходил необыкновенный. Тогда Гюйгенс решил, что световым волнам нужно, в отличие от звуковых, приписать еще одну характеристику — у них есть «разные стороны». Но это замечание Гюйгенса, сделанное как-то мимоходом, скоро было забыто.

Теории Ньютона и Гюйгенса приводили к различным результатам для скорости света в среде: согласно Ньютону, она должна была возрастать при переходе в более плотную среду, а по Гюйгенсу, — убывать. Но до возможности провести такие измерения было еще далеко, и авторитет Ньютона пока побеждал.

Однако постепенно накапливались факты, не укладывающиеся в корпускулярную теорию. К одному из них вело дальнейшее изучение двойного лучепреломления некоторых кристаллов, которое через много лет после Гюйгенса начал Этьен Луи Малюс (1775—1812), выпускник знаменитой Политехнической школы в Париже, инженер-капитан, активный участник наполеоновских войн. Как-то раз в 1808 г. он сидел под вечер в Люксембургском саду, крутил в руках прихваченный за чем-то из института большой прозрачный кристалл известкового шпата и рассматривал через него дворец. Но тут блеснул отраженный от окна солнечный луч, Малюс инстинктивно заслонился от него кристаллом и вдруг заметил, что при поворотах меняется интенсивность проходящего через него света, а при некоторых углах поворота появляется второе изображение Солнца. Дома, вращая кристалл, он начал рассматривать отражение пламени свечи от воды в тазике. Той ночью он понял, что у света должна быть еще одна характеристика, от которой зависит прохождение света через кристалл, интенсивность его отражения и т. д.

Так было открыто явление поляризации света и установлен закон Малюса, определяющий поляризацию отраженных световых лучей.

2. Томас Юнг

Авторитет Ньютона, подкрепленный впечатляющими достижениями науки XVIII в., был столь велик, особенно в Англии, что выступить против каких-либо из его утверждений мог либо дилетант, не связанный догматами стандартного образования, либо бунтарь по натуре. (Как

писал С. И. Вавилов в известной биографии Ньютона: «Во всех спорах И. Ньютон неизменно выходил победителем, даже в тех случаях, когда он был совсем не прав».) Поэтому опровержение корпускулярной теории света выпало на долю дилетанта Т. Юнга и мятежного О. Френеля.

Томас Юнг (1773—1829) экспериментировал не только со светом, но и с самим собой: он был убежден, что не существует узко направленной талантливости и, видимо, решил доказать это своей жизнью. Явный вундеркинд, он в 2 года бегло читал, в 4 цитировал наизусть английских классиков, к 8 годам овладел профессией токаря, к 14 — высшей математикой (притом, по книге Ньютона), выучил множество языков. Затем Юнг начал изучать медицину, но не успокоился и во время учебы в Геттингенском университете выступал под псевдонимом в цирке, вольтижируя на конях и балансируя на проволоке. Юнг писал музыку, играл на всех инструментах (изобрел и изготовил новые), получал призы как танцор на балах, писал картины и стихи (выставлялся и печатался), взялся за расшифровку египетских иероглифов и добился некоторых успехов (используя его результаты, эту работу довел до конца Ж. Ф. Шампольон).

Теория трехцветного зрения почти полтора века оставалась умозрительной, хотя, после Гельмгольца, и общепринятой. Экспериментально доказать ее удалось только к концу XX в., когда стало возможным определить спектр света, отражаемого сетчаткой: оказалось, что он действительно состоит только из трех цветов.

В 21 год он был избран членом Королевского общества за свои работы по строению и работе глаза: он открыл свойства хрусталика изменять свою кривизну, т. е. фокусное расстояние, и аккомодироваться (приспособляться) к разглядыва-

нию предметов на разных расстояниях. Поэтому он установил причины близорукости и дальнозоркости, а также астигматизма. Позже Юнг изучает анатомическое строение сетчатки и выдвигает теорию трех видов чувствительных колбочек глаза и, соответственно, трехцветную теорию зрения, усовершенствованную затем Г. Гельмгольцем.

Далее Юнг занимается акустикой, оптикой, механикой — он уточнил закон Гука и ввел понятие модуля сжатия и растяжения тел («модуль Юнга» в теории упругости). Его интересуют зоология и астрономия. Кроме того, он объясняет особенности землетрясений появлением волн, которые затем были названы сейсмическими, руководит изданием «Морского календаря» — справочника для моряков, работает советником по мерам и весам при парламенте, а в 1826 г. выводит формулу для составления таблиц смертности, необходимых в страховом деле.

Но основные его достижения связаны с акустикой и оптикой.

Как музыкант Юнг знал, что возможны усиления и ослабления звука, которые нужно учитывать при оркестровке. Но знания эти ограничивались у музыкантов практическими указаниями по взаимному расположению исполнителей в оркестре,

Получив степень доктора медицины и став обладателем небольшого наследства, Юнг открывает маленькую частную клинику, в которой работает до конца жизни, совмещая эту работу со всеми увлечениями. В медицине Юнга интересовали проблемы лечения туберкулеза, он занимался изучением функционирования сердца, работал над созданием классификации болезней.

по настройке инструментов в зависимости от того, как они звучат в различных сочетаниях, и т. п. Юнг решил впервые количественно исследовать вопрос усиления и ослабления звука при наложении звуковых волн, прямой и отраженной — тут, видимо, понадобился его абсолютный слух и умение создавать чистые тона. Для обозначения этого явления он предложил термин *интерференция* (от латинских «интер» — между и «ференс» — переносящий) и объяснил его сложением (суперпозицией) колебаний.

Явление это казалось парадоксальным: звук гасит звук в некоторых точках пространства! Но ведь звук переносит с собой энергию — куда же девается эта энергия? Оказывается (Юнг еще не мог это измерить, такие измерения смог осуществить лишь Гельмгольц через полвека), если в какой-то точке интенсивность звука убывает до нуля, то в точке максимума она возрастает не в два, а в четыре (!) раза. Закон сохранения энергии выполняется не по отдельным точкам пространства, а только если рассмотреть сумму энергий по некоторой поверхности.

В 1801 г. он решает проверить возможность существования аналогичной интерференции света (может ли свет гасить свет?), но для этого нужны две точно одинаковые волны — как их создать? Создать

два одинаковых источника звука не так уж трудно — достаточно хорошего музыкального слуха, а вот два точно одинаковых источника света — это удалось только к концу XX в. с помощью тщательно отрегулированных лазеров.

В 1807 Юнг выпускает «Курс лекций по натуральной философии и механическому искусству» в двух томах (он читал его с 1801 по 1803 в Королевском обществе), где обобщил результаты своих исследований по физической оптике, впервые рассмотрел механическую работу как величину, пропорциональную энергии, и предложил термины «энергия» и «физическая оптика».

Однако Юнг находит гениальное решение (1802): в темном экране прокалывается острием тонкой булавки крохотное отверстие — проходящий через него световой поток расширяется в конус, конус этот делится пополам тонкой проволокой и таким образом получаются как бы два источника. Но на экране они дают не два отдельных изображения, а накладываются друг на друга — возникает система темных

и светлых полос (Гримальди и Ньютон использовали гораздо большие отверстия: свет, проходящий через них, становится уже некогерентным, как бы теряет свою однородность, и это уменьшает его способность интерферировать). В следующем, еще более тонком эксперименте Юнг создает два отверстия на миллиметровом расстоянии друг от друга, они освещаются монохроматическим светом через призму, и на втором экране исследуется наложение световых пучков, прошедших через отверстия. Эти два световых потока действительно интерферируют, т. е. в одних местах усиливают, а в других гасят друг друга так же, как звуковые волны. Юнг делает вывод: свет — это волны!

В 1803 он попытался объяснить дифракцию света, высказал гипотезу о поперечности световых колебаний, открыл интерференцию ультрафиолетовых лучей. Поскольку в интерференционных картинках, которые Юнг получал с лучами разного цвета, расстояния между темными и светлыми полосками были разными, то он впервые смог измерить длины волн света разных цветов.

Но... никто в Англии ему не верит — здесь царит культ Ньютона и корпускулярная теория! Подтверждение теории Юнга пришло из Франции, векового соперника Англии.

3. Огюстен Френель

Огюстен Френель (1788—1827), дорожный инженер по специальности, был убежденным роялистом, т. е. противником Наполеона. Поэтому после возвращения императора с острова Эльба в 1815 г. он был уволен со службы и отправился в городок Матье, где на доступном ему оборудовании занялся исследованием тени от разных предметов, т. е., говоря языком физики, явления дифракции света.

Повторяя, по сути дела, опыты Гримальди XVII в., но с более тонкими предметами, он сравнивал особенности тени, отбрасываемой проволокой, находящейся на пути лучей, и обнаружил образование полос (темных и светлых) не только снаружи, но и внутри этих теней. При этом оказалось, что тень (точнее, полутень) от прямого края экрана не содержит таких полос. Отсюда Френель заключил, что внутренние полосы образуются при наложении света, огибающего проволоку с двух сторон, т. е. переоткрыл принцип интерференции, никак не укладывающийся в рамки корпускулярной теории.

Френель быстро пишет две короткие заметки о своих наблюдениях, посылает их в Академию наук, и в том же 1815 г. (Наполеон разбит при Ватерлоо и гонения на роялистов кончились) его приглашают в Париж рассказать об этих экспериментах.

Вскоре произошло примечательное событие: по окончании войны возобновились заграничные поездки ученых, и известный физик Доминик Франсуа Араго поехал в Лондон. Здесь он присутствует в гостях у Томаса Юнга и рассказывает тому об опытах Френеля. Юнг внимательно слушает и только согласно кивает головой, но его жена выходит из комнаты, приносит и раскрывает перед гостями книгу мужа: французы с удивлением видят рисунки, почти буквально совпадающие с теми, что они принесли показать, и которыми хотели удивить Юнга!

Получив книги Юнга, Френель модифицирует его опыт: он разделяет световой поток на два не с помощью дырочек в экране (они каждый раз получались разными), а специальными устройствами — двумя зеркалами с очень малым углом между ними или двумя слегка раздвинутыми призмами. Эти устройства («зеркала Френеля» и «бипризма Френеля») позволяют строго количественно измерять особенности процесса интерференции. Таким образом, волновая теория может уже проверяться не только на истинность вообще (верна она или не верна), но и количественно, во всех подробностях.

И Френель — в отличие от Юнга у него солидная математическая подготовка — принимается за теоретическое обоснование волновой гипотезы Гюйгенса. В основу своего подхода он кладет принцип интерференции: в каждую точку на пути волны приходят элементарные волны, возбужденные всеми точками предшествующей огибающей, но их импульсы направлены под углом друг к другу; Френель складывает все эти импульсы (они интерферируют) и в результате получает суммарный импульс, направленный по ходу луча, т. е. доказывает, что принцип Гюйгенса (отныне он именуется принципом Гюйгенса—Френеля) действительно объясняет прямолинейное распространение света.

Теперь он может строить понятные геометрические картинки: на огибающей чертятся маленькие кружочки с радиусом, равным длине волны, и рассматривается, как эти кружочки складываются друг с другом. При этом становится, например, ясно, что если отверстие в экране столь мало, что в нем может поместиться только один кружок (зона) Френеля, то он уже ни с чем интерферировать не будет, и потому свет от такого отверстия равномерно пойдет во все стороны — это диффракция на предельно малом отверстии. Теперь можно рассмотреть отверстие величиной в две, три и т. д. зон Френеля и рассчитать, даже геометрически, как будет распределена интенсивность света на экране. Если же отверстие меньше такой зоны Френеля, то вторичная волна на нем вообще образоваться не может, и свет как

будто вообще через него не пройдет — этот вопрос, кстати, не столь прост, он исследуется и сейчас³⁰.

В 1818 г. Френель представляет свою теорию дифракции на конкурс Парижской академии наук по теории света (на конкурс представлены также работы великого математика П. Лапласа и других по корпускулярной теории). Во время доклада Араго в академии о работах Френеля по волновой теории знаменитый математик С. Д. Пуассон заявил, что если Френель прав, то в центре тени шарика на экране, при некотором удалении, должно было бы, вследствие сложения огибающих волн, появиться светлое пятно, что, конечно же, невозможно. Страсти так накалились, что вызвали швейцара, взяли у него вместо шарика большую пуговицу, подвесили ее на нитке и провели опыт.

На экране появилось светлое пятнышко! Волновая теория мгновенно победила! По единодушному предложению комиссии, Академия наук присудила премию Френелю, а в 1823 г. он был избран ее членом.

После этого Френель перешел к исследованию явлений поляризации света, которые не объяснялись корпускулярной теорией. Френель начал с попыток добиться интерференции двух лучей, обыкновенного и необыкновенного, но ничего не получалось — лучи вели себя так, будто они совершенно различны. Френель упорствовал, придумывал новые и новые схемы опыта, однако ему никак не удавалось добиться интерференции этих лучей.

Эта неудача еще в 1815 г. натолкнула Ампера на мысль о том, что колебания эфира происходят в двух плоскостях перпендикулярно направлению луча, и он предлагал Френелю ее проверить, но Френель все еще старался доказать, что световые волны, как и звуковые, являются продольными.

Звуковые волны — это волны сжатия и разрежения, которые распространяются в среде вдоль направления звука. Однако если резко ударить, например, по длинному железному стержню (рельсу), то внутри него побегут продольные волны, а по поверхности — поперечные, то же самое можно наблюдать, бросив камень в воду, только здесь поверхностные волны ясно видны, а продольные, по линии падения камня, заметить сложнее. Итак, звук может возбуждать поперечные волны, но только вдоль свободных поверхностей. Но ведь

³⁰ Теория Френеля очень приближительна, а расчеты дифракционных картин — одна из самых сложных проблем современной теоретической физики. Во второй половине XX в. выдвинулось даже особое направление исследований — квазиоптика, которая рассматривает оптические явления, объяснимые геометрическими лучами, к которым добавляются некоторые диффрактированные, т. е. огибающие препятствия лучи.

эфир казался непрерывной средой, поэтому как-то естественнее казалось придумать продольные волны в нем.

Юнг, узнав в 1817 г. об опытах Френеля и Араго с поляризованным светом, так же начал думать о поперечных колебаниях, но они казались ему понятием чисто фантастическим, бессмысленным с позиций механики, к которой старались, вводя волны, свести оптику.

И только в 1821 г. Френель, проверив все возможности и не найдя другого пути интерпретации поляризационных явлений, решился принять теорию поперечности колебаний. Гипотеза поперечности смогла, как детально показал сам Френель, объяснить основные свойства поляризованного света.

Однако из поперечности колебаний следовало, что эфир, эта тончайшая и невесомая «материя», должен одновременно быть тверже стали, так как только такие твердые тела могут передавать поперечные колебания. Гипотеза Френеля представлялась почти безумной. И даже его друг и защитник Ф. Араго³¹, человек смелый (он в 1815 г. собрался было бежать с Наполеоном от англичан в прерии Америки, к индейцам), физик без научных предрассудков, не нашел возможным разделить ответственность за эту странную гипотезу и отказался подписать представленную Френелем статью.

С 1821 г. Френель продолжал свой путь в одиночку, и это был путь, полный побед.

По теории Френеля, эфир заполняет всю Вселенную и пронизывает все тела. Когда световая волна переходит из эфира в пустоте в эфир, содержащийся в теле, или наоборот — из тела в пустоту, то на поверхности раздела часть волны (зависящая от длины волны, поляризации и угла входа) проходит, а часть поворачивает обратно — это знаменитые формулы Френеля, которые сохранили свой вид до наших дней применительно к не слишком мощным световым потокам.

4. Скорость света и проблема эфира

Волновая теория Гюйгенса—Юнга—Френеля казалась столь полной, что довольно долго даже не возникало мысли о необходимости ее прямой проверки путем измерения скорости света в разных средах. Однако Араго не успокаивался, и по его инициативе были все же проведены измерения скорости света в воде и в воздухе: А. И. Л. Физо

³¹ Франсуа Араго написал «Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров» (Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров: В 2 т. М.: РХД, 2000).

(1819—1893) и Ж. Б. Л. Фуко (тот, который показал с помощью маятника вращение Земли) провели, соответственно, в 1849 и 1850 гг. такие измерения. Скорость света в воде составила $2/3$ от скорости света в воздухе в полном соответствии с волновой теорией.

Победа, одержанная Юнгом и Френелем, казалась полной, но она, как всегда в науке, поставила новую проблему: а что такое эфир?

Основной философской предпосылкой физики XIX в. был постулат о том, что все физические явления представляют собой лишь различные проявления одной и той же сущности — это идея «единства физических сил». Пусть для распространения света приходится вводить некую среду, эфир, но этот эфир должен обладать определенными механическими свойствами, и нужно их выявить.

Первое, что сразу бросается в глаза, — это вопрос о движении планет сквозь эфир: сколь бы тонок он ни был, но определенное сопротивление движению эфир, если он неподвижен, должен оказывать, т. е. все небесные тела должны в нем замедляться, а сам эфир от этого трения нагреваться! Но ведь замедление не наблюдается? И что такое нагревание эфира?

А может быть, эфир увлекается движущимися телами, например Землей, и потому вместе с ней вращаются и какие-то слои эфира?

В эти годы разрабатывались многочисленные теории эфира, можно сказать, что ни один физик-теоретик второй половины XIX в. не прошел мимо этой проблемы. Постепенно становилось ясно, что без экспериментальных исследований проблема не разрешима: нужно выяснить хотя бы, увлекается эфир Землей в ее вращении или нет.

В статье «Эфир» в девятом издании Британской энциклопедии Максвелл пишет, что либо планеты увлекают с собой эфир, либо проходят сквозь эфир, «как вода проходит через рыболовную сеть, которую тянет за собой лодка». Для разрешения проблемы нужно, по его мнению, измерить скорость солнечного света при движении прибора на Земле навстречу лучу, т. е. ранним утром (скорости света и Земли должны складываться) и в полдень, когда скорость вращения Земли перпендикулярна направлению лучей.

Этот эффект, однако, должен быть очень слабым: по расчетам Максвелла, разница должна быть порядка квадрата отношений скорости Земли к скорости света в пустоте, т. е. порядка одной стомиллионной от скорости света, от 300 000 км/с! (Представьте себе измерение, скажем, расстояния от Москвы до Петербурга с точностью до одной десятой толщины человеческого волоса!)

Честь постановки подобных опытов, сложнейших и точнейших для своего времени, и решения этой проблемы принадлежит Альберту

Майкельсону, посвятившего всю жизнь разработке и созданию все более и более точных оптических приборов.

Майкельсон начал свои измерения скорости света в 1878 г. и уточнил их, после изобретения нового прибора (звездный интерферометр Майкельсона), в 1887 г. в исследованиях, проведенных совместно с химиком Э. У. Морли (1838—1923) — поэтому знаменитый эксперимент часто называется опытом Майкельсона—Морли (Майкельсон уточнял его и дальше, последние измерения он провел в 1923 г.).

Опыт дал отрицательный результат: скорость света во всех направлениях постоянна и равна 300 000 км/с! Получалось, что скорость Земли не добавляется и не вычитается из нее — результат полностью противоречил всем имевшимся теориям.

А как же тогда быть с эфиром?

Прежде чем начать разбираться с этим вопросом, нам нужно вернуться к развитию учения об электричестве.

Альберт Абрахам Майкельсон (1852—1931, Нобелевская премия 1907, первая в США) родился в России, в раннем детстве был перевезен в США. Отец содержал придорожную харчевню в Калифорнии, там один из постояльцев объяснил любознательному, но очень бедному юноше, что он может получить бесплатно высшее образование, если обратится к президенту США. Майкельсон прошел пешком из Калифорнии в Вашингтон, зарабатывая по дороге работой на огородах. Президент У. Грант, которого юноша подстерег на прогулке, добился специального решения Конгресса о приеме Майкельсона на учебу в Морскую академию за государственный счет. В период учебы он отличался в науках, успехи в судовождении были ниже. После нескольких лет службы на флоте Майкельсон в 1881 г. был отправлен в бессрочный отпуск для продолжения научной работы. Помимо известного опыта Майкельсон смог впервые измерить радиус звезды (Бетельгейзе, 1920), выявить тонкую структуру спектральных линий, создать оптический эталон метра и т. д. К теории относительности сам он относился скептически.

Электродинамика Максвелла

1. Дальное действие и ближнее действие

До Ньютона, точнее до его закона Всемирного тяготения, принималось, что все процессы взаимодействия тел сводятся к их прямому контакту: ударило одно тело другое — вот вам и взаимодействие, даже зрение сводилось то ли к ощупыванию предмета лучом из глаза, то ли к попаданию в глаз каких-то частиц. Это были типичные теории ближнего действия.

Теория тяготения Ньютона ввела совершенно иные представления: две массы притягиваются друг к другу безо всякого контакта, через пустое пространство — никакая среда между ними не нужна. При этом подразумевается, что если бы (правда, неизвестно как) одна масса изменилась, то вторая немедленно на сие изменение откликнулась бы. Это — теория дальнего действия, «действия на расстоянии» без посредников.

Сам Ньютон понимал неопределенность такого подхода и шаткость единственного аргумента — формулы для силы Всемирного тяготения. Он писал: «Непонятно, каким образом неодушевленная косная материя, без посредства чего-либо иного, что нематериально, могла бы действовать на другое тело без взаимного прикосновения. <...> Это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому прийти».

Но к началу XIX в. появились добавочные «аргументы». Законы Кулона для сил взаимодействия между электрическими зарядами и магнитными полюсами (они первоначально рассматривались в пустоте) имели такой же вид, что и закон Всемирного тяготения: казалось, что никакие промежуточные посредники не нужны, силы мгновенно передаются через пустоту — дальнее действие и только.

Такой же вид, ни от чего в промежуточной среде не зависящий, имели формулы, выведенные Ампером для взаимодействия токов. Поэтому теория (точнее, парадигма) дальнего действия, которая была принята не сразу, но укрепилась со временем в умах, стала догматом, от которого нелегко отойти.

Напомним, однако, что закон Кулона был ранее него открыт, но не опубликован Генри Кавендишем, который выяснил, что сила взаимодействия между зарядами зависит от свойств промежуточной среды. Позднее, независимо, это открытие было повторено Фарадеем, который ввел специальную характеристику среды — диэлектрическую проницаемость.

И еще: в электростатике Кулона были неподвижные заряды, в электродинамике Ампера фигурировали лишь постоянные токи, т. е. Кулон и Ампер не рассматривали явлений, обусловленных ускорением зарядов. А Фарадей начал изучать и другой класс явлений: изменения электрического тока со временем, т. е., на современном языке, явления, обусловленные ускорением (точнее, изменением направления скорости) зарядов.

Фарадей вводит понятие электрического поля, т. е. чего-то промежуточного в пространстве между зарядами, которое можно сделать видимым с помощью порошка из кристалликов диэлектрика — в поле порошинки выстраиваются в силовые линии (в магнитном поле для такой визуализации нужны железные опилки). Вначале Фарадей даже считает эти силовые линии вполне реальными: он говорит об их натяжении, сжимании ими поля и т. д. (Кстати, несмотря на свою условность, такая терминология сохранилась до сих пор.)

Но теперь нужно было как-то формализовать, обобщить громадный экспериментальный материал, накопленный, в основном, Фарадеем, и увязать его с математическим аппаратом электродинамики Ампера и ее развитием великими математиками — Лапласом, Гауссом, Пуассоном, Коши.

Максвелл так писал о Фарадее: «Может быть, для науки является счастливым обстоятельством то, что Фарадей не был собственно математиком, хотя он был в совершенстве знаком с понятиями пространства, времени и силы. Поэтому он не пытался углубляться в интересные, но чисто математические исследования, которых требовали его открытия», зато он «смог согласовать идеи с открытыми

Уже через год после открытия в 1831 г. явления электромагнитной индукции (кстати, в том году родился Максвелл) Фарадей передает в Королевское общество запечатанный конверт с надписью «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества». Конверт этот был вскрыт в 1938 г., через 106 лет, и как оказалось, Фарадей уже тогда, в 1832 г., ясно представлял себе, что индуктивные явления распространяются в пространстве с некоторой (большой) скоростью, причем в виде волн, по аналогии с распространением звука и света.

Фарадей, видимо, хотел, как еще было принято тогда, в случае экспериментального подтверждения оставить за собой честь открытия этих волн: он писал, что «в настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня, не имеет подобных взглядов». Но открытие ему не удалось, и письмо осталось в архиве.

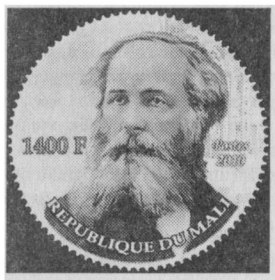
им фактами и создать, если не технический, то естественный язык для выражения своих результатов».

Такие проблемы, как развитие идей близкодействия, требовали работы теоретика. Без такого обобщения, даже восхищаясь экспериментальными результатами Фарадея, физики не могли принять идей близкодействия и новой парадигмы своей науки — понятия электромагнитного поля.

2. Великие уравнения

Теория Максвелла — это уравнения Максвелла.

Генрих Герц



С электрическими явлениями Максвелл столкнулся в раннем детстве при устройстве в загородном доме системы фантастических для того времени электрических звонков и, согласно письмам матери, необычайно ими заинтересовался. Далее, при чтении научной литературы, огромный интерес вызвали у него наглядные картинки силовых линий Фарадея — они отвечали картинному, геометрическому представлению явлений, свойствен-

ному Максвеллу, и поэтому естественными стали поиски симметрий в этих представлениях, попытки их упорядочить, вылившиеся в систему уравнений.

Система четырех уравнений, выводу которой Максвелл посвятил почти половину своей короткой жизни, исследуется уже почти полтора века. Говоря об этой системе, Людвиг Больцман приводил восторженные слова Фауста: «Начертан этот знак не Бога ли рукой?». Им посвящены десятки, если не сотни тысяч, научных работ, на их основе созданы домашняя и промышленная электротехника и электроника, радио- и телевизионная техника, компьютеры с Интернетом, и конца потоку их применений не видно.

Мы не будем выписывать эти уравнения, но рассмотрим их смысл и постараемся понять, как Максвелл их вывел (точнее, будем говорить о некоторой их модификации, проведенной Г. Герцем и О. Хевисайдом, но для нас этот вопрос не существен). Обычно уравнения Максвелла записывают в определенном, хотя и не канонизированном, порядке. Но мы начнем с более простых из них, относящихся к статическим полям.

Третье уравнение иногда называется теоремой Гаусса: из этого уравнения вытекает закон Кулона и его обобщения на любое количество неподвижных зарядов, расположенных произвольным образом, а также закон сохранения электрического заряда. При этом из него следует, как установил Лаплас, что закон Кулона выполняется в том и только том случае, если пространство имеет три измерения — эта проблема, проблема размерности пространства, как увидим, возникает в современной космогонии.

Четвертое уравнение схоже с третьим, но относится к магнитным полям, и из него следует магнитный закон Кулона. А по форме записи его отличие от третьего уравнения состоит в том, что магнитных зарядов не существует, есть только парные полюса, которые в сумме как бы компенсируются, и поэтому можно было бы сформулировать закон их «сохранения»: в любом замкнутом пространстве общее количество «северных» полюсов равно количеству «южных» (их обозначают как N и S).

Великий физик XX в. Поль Дирак (подробнее о нем ниже³²) считал, что одним из критериев истины является красота математических выражений, и поэтому четвертое уравнение ему не нравилось — какое-то оно несимметричное. Ну а так как еще одним эвристическим аргументом в поисках истины может служить выражение «все, что не запрещено, может существовать», то в 1931 г. он выдвинул гипотезу о существовании частиц нового типа, магнитных монополей, обладающих только одним полюсом. И если в обычной электродинамике существуют только электрические заряды, а магнитные полюса возникают (попарно!) при их движении, то монополи Дирака, только N или только S , должны при движении вызывать появление двух (противоположных) электрических зарядов. С тех пор неустанно ведется поиск монополей (почти все другие предсказания Дирака сбылись) — очень уж красивой станет теория, если они появятся, но, возможно, для этого нужны более мощные ускорители — работа пока продолжается, так как запреты их существования тоже не выявлены.

Второе уравнение Максвелла — это обобщение закона электромагнитной индукции Фарадея: оно показывает, что изменение магнитного поля создает вихревое электрическое поле, а такое поле в замкну-

Карл Фридрих Гаусс (1777–1855) — величайший математик первой половины XIX в., современники называли его королем математики. В области физики Гаусс вывел основную теорему электростатики (1839), создал первую систему физических единиц (CGS или СГС, от названий сантиметр-грамм-секунда), построил вместе с В. Э. Вебером первый электромагнитный телеграф, пришел к мысли о конечной скорости распространения электромагнитных взаимодействий (1845), но не опубликовал ее.

³² См.: Пельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел I. Глава 4.

том проводнике и является электрическим током. При этом уравнение учитывает и закон Ленца, так как электрический ток, в свою очередь, порождает вторичное магнитное поле (это уже согласно первому уравнению), которое противодействует изменению своего «прародителя», основного магнитного поля — это как бы инерция, как будто совокупность полей противодействует всем возможным изменениям. На самом деле это уравнение, как и первое, является векторным, т. е. может быть записано в виде трех уравнений, относящихся к трем пространственным координатам по-отдельности, но запись с помощью векторов и компактнее, и позволяет лучше понять его смысл — это заслуга Гиббса и Хевисайда, которые ввели такие удобные обозначения.

Первое уравнение включает в себя закон Ампера, т. е. показывает, что любой электрический ток создает вокруг себя вихревое магнитное поле, но сверх того здесь содержатся наиболее глубокие открытия Максвелла. Оно показывает, что должен существовать эффект, обратный закону электромагнитной индукции Фарадея: не только ток, но и изменение электрического поля, даже в отсутствие тока, должно порождать вихревое магнитное поле. Так, например, если электрические заряды колеблются около своих положений равновесия, то тока — в среднем — нет, но наряду с этим переменным электрическим полем должно возникать и переменное магнитное поле. Это переменное магнитное поле должно вызвать в проводнике, пусть пространственно удаленном, переменный же электрический ток, тот опять создаст магнитное поле и т. д., т. е. эти самые первичные колебания должны, возможно, постепенно затухая, распространяться в пространстве!

Но так как подобные передачи возмущений (в физике изменения стационарных равновесий, особенно если они небольшие и не постоянные, называют возмущениями) происходят в *пустом пространстве*, то значит они передаются через эфир. Это тот же эфир, что введен для световых волн, или какой-то другой?

Фарадей ранее показал, что электрическое поле вызывает в диэлектрике, например между пластинами конденсатора, появление добавочного поля, а может быть, возникает и ток смещения (название связано с тем, что в поле заряды в теле могут колебаться и смещаться друг относительно друга, среда может поляризоваться). Но тут появляется еще как бы добавочный «ток смещения», и происходит это в пустоте, где нет никаких зарядов.

И тут сразу, конечно, возникает вопрос: а с какой скоростью передается этот ток смещения, эти колебания эфира от тела к телу?

В уравнение входит постоянная, определяющая скорость передачи тока смещения, и тут — совсем уж неожиданно! — оказалось,

что для совпадения с известными и хорошо проверенными законами названная постоянная должна численно равняться скорости света в пустоте.

Значит ли это, что свет тоже является электромагнитным колебанием, что в нем присутствуют электрическое и магнитное поля, непрерывно переходящие друг в друга? Единственным на тот момент экспериментальным фактом в пользу такого предположения мог служить эффект вращения плоскости поляризации света в магнитном поле, открытый Фарадеем: магнитное поле не могло бы влиять на свет, если между ними нет ничего общего.

Но при таком распространении полей оказывается, что направления напряженностей и электрического, и магнитного полей перпендикулярны направлению своего распространения, т. е. мало того, что уравнения дают решения в виде волн с той же скоростью — электромагнитное поле распространяется в пространстве, как и свет, в виде поперечных волн.

Убежденный в универсальности своих уравнений, Максвелл пишет, что «свет есть электромагнитное возмущение» (1865). Точно так же, как существуют излучения световые, должны существовать и «излучения электромагнитные» — дальнодействия больше нет, поля, введенные Фарадеем, осуществляют все электромагнитные взаимодействия, оптика является частью электродинамики. (Заметим, что такое заключение на основе лишь равенства численных значений скоростей не является строгим. Поэтому данное заключение нужно считать гениальной догадкой Максвелла, подтвержденной экспериментально много позже.)

Но главное им сделано — в физике стало на одну самостоятельную дисциплину меньше, введена новая парадигма, парадигма поля Фарадея—Максвелла, явившаяся образцом для развития всех последующих полевых теорий, основы современной физики. И как сам Максвелл писал о других: «Всякий великий человек является единственным в своем роде. В историческом шествии ученых у каждого из них своя задача и свое определенное место», — это место остается за Джеймсом Клерком Максвеллом навсегда.

Максвелл тратит много сил и времени на создание механических моделей единого эфира с вращающимися шестернями и сложными передачами между ними — никому психологически не удается полностью избавиться от полученных в детстве и юности представлений... Но надо работать, и еще в 1858 г. в одном из своих стихотворений (они не предназначались к печати) Максвелл пишет:

*«Если все мы в покое пребудем,
Смысл бытия навсегда пропадет,
А спокойными — в камне мы будем,
Когда радость со смертью уйдет»*³³.

³³ Цит по кн.: Карцев. В. Максвелл. (ЖЗЛ. № 539.) М.: Молодая Гвардия, 1974.

3. Генрих Герц

В 1820 г. Феликс Савар (1791—1841), военный хирург, переключившийся на занятия физикой, совместно с Жаном-Батистом Био (1774—1862) сразу после сообщения Эрстеда установил закон, определяющий напряженность магнитного поля прямого тока. А в 1826 г. он обнаружил странное явление: если разряжать лейденскую банку через катушку с проволокой, внутри которой помещены стальные иголки, то иголки намагничиваются — это естественно, но некоторые из них намагничиваются в разные стороны. К этому наблюдению Савара в 1842 г. вернулся Дж. Генри: оказалось, что если брать длинные иголки, то они намагничиваются в одном направлении, а вот мелкие — иногда в разных направлениях. Почему?

Ответ дался не так легко: в конце концов Генри понял, что единственная возможность объяснения состоит в том, что ток в катушке переменный — конденсатор разряжается, затем перезаряжается в обратном направлении, снова разряжается и т. д., но каждый такой цикл проходит с потерей энергии (он думал только о потерях на нагревание), т. е. с затуханием. Степень намагничивания иголок зависит от их длины и поэтому некоторые из них могут сохранять свою намагниченность при перемене направления тока, а часть перемагнитится в обратном направлении.

Теорию таких колебательных процессов в колебательном контуре (конденсатор, закороченный на катушку) начал разрабатывать в 1847 г. и уточнил в 1869 г. Герман Гельмгольц.

Отметим, что в 1877 г. Максвелл пишет о Гельмгольце статью, восторгаясь его ролью в открытии и утверждении закона сохранения энергии и его работами по акустике. Столь же дружественно относится и Гельмгольц к Максвеллу, но по-иному — к его электродинамике: в развитых Гельмгольцем теориях электролитических ячеек, дисперсии света в области поглощения и даже разряда в колебательном контуре существование поля, как ему кажется, не является необходимым. Поэтому Гельмгольц хочет проверить, точнее, опровергнуть теорию Максвелла экспериментально и поручает это своему новому ученику.

Им стал Генрих Рудольф Герц (1857—1894), блестящий исследователь, профессор уже в 28 лет (отметим, что Герц долго сомневался в своих возможностях и даже два года проучился на инженерном отделении, но потом все же перешел на физику).

Герц осуществляет тончайший для своего времени эксперимент: делаются два абсолютно тождественных устройства — круглый виток

провода, на концах которого прикреплены две параллельные пластины, образующие конденсатор (вibrator Герца).

Если этот конденсатор быстро зарядить, то он начинает разряжаться через кольцо. Ток разряда в кольце — переменный: он нарастает, а затем убывает, создавая переменное магнитное поле, которое возбуждает в кольце ток Ленца, текущий в противоположном направлении — конденсатор перезарядается, после чего начинается новый цикл. Но поскольку при прохождении тока неизбежны потери хотя бы на нагрев, то вся последовательность циклов очень быстро затухает.

И вот Герц, регулируя расстояние между пластинами конденсатора, добился того, что когда такой колебательный процесс происходил в одном вибраторе, то одновременно он начинался, резонансным образом, во втором вибраторе, находящемся от первого на определенных расстояниях (это явление регистрировалось по искорке, проскакивающей во втором конденсаторе). Таким образом, Герц осуществил передачу радиоволн от излучателя (передатчика) и их прием резонансным приемником. А проведенные при этом измерения длин волн излучения (у его вибраторов — в районе 60 см), определение их поляризации, свойств отражения, преломления и т. п. явилось фактически не только подтверждением теории Максвелла, но и началом радиотехники как науки (1888)³⁴.

Подтвердив теорию Максвелла, Герц так охарактеризовал ее: «Нельзя изучать эту удивительную теорию, не испытывая по временам такого чувства, будто математические формулы живут собственной жизнью, обладают собственным разумом — кажется, что эти формулы умнее нас, умнее даже самого автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них заложено».

Изучая теорию Максвелла, Герц как гениальный ученый переделывал и переписывал ее в соответствии со своими взглядами и вкусами. Знаменитый физик Макс Борн позднее справедливо говорил



³⁴ В 1895 г. Петр Николаевич Лебедев (1866–1912) смог осуществить такие эксперименты на волнах длиной в 6 и 4 мм. Но еще большее значение имели его эксперименты 1899 и 1907 гг., в которых он смог непосредственно измерить давление света на газы и твердые тела, т. е. доказал, что световые (электромагнитные) волны несут с собой не только энергию, но и импульс. (Сейчас проводятся эксперименты по созданию «световых парусов» для движения космических кораблей этим давлением.)

Рассказывают, что когда один из студентов спросил Герца: «Какое практическое значение имеет Ваш эксперимент?» — профессор пожал плечами и сказал: «Никакого». Если бы ему довелось прожить дольше, то, возможно, Герц нашел бы практическое применение своему открытию, но получилось так, что оно было осуществлено через год после его кончины. Первая телеграмма, отправленная по «беспроволочному телеграфу» А. С. Поповым, состояла из двух слов: «Герих Герц». Его именем названа единица частоты герц, а электромагнитные волны долго назывались «волнами Герца».

о «новом обосновании» Герцем максвелловской теории электромагнитного поля, о том, что он придал ей законченный математический облик. Так, он уточнил вывод волнового уравнения из уравнений Максвелла и задумался над такой, казалось бы, формальной проблемой: первые два уравнения, как мы говорили, векторные, т. е. каждое из них может быть разложено на три уравнения — всего имеем шесть уравнений, соответствующих двум векторам, на-

пряженностям электрического и магнитного полей. Не слишком ли это много, шесть уравнений? Для описания волн нужно ведь только три или четыре, и Герц придумывает такую величину (вектор Герца), через который можно проще, хотя и не во всех случаях, записать систему Максвелла. Этот путь продолжал развиваться и дальше: придумывались новые величины, с введением которых уравнения становились проще. Одна из таких величин, так называемый вектор-потенциал, стал основным в квантовой электродинамике. Но подобные методы все еще продолжали считаться математическим трюком.

И вдруг, в 1959 г. Якир Ааронов (р. 1932) и Давид Бом (1917–1994) теоретически показывают, что этот самый вектор-потенциал — чисто формальная, как казалось — конструкция, должен проявлять весьма необычные свойства: в некоторой области, где и электрическое и магнитное поля равны нулю, но сам он от нуля отличен, на электроны должны действовать некоторые силы — его траекторию, например, они должны заворачивать. Все эти предсказания подтвердились экспериментально: оказалось, во-первых, что уравнения Максвелла действительно, как говорил Герц, «умнее их создателей», а во-вторых, что разделение электромагнитного поля на два составляющих поля, электрическое и магнитное, не является единственно возможным.

Герц равно владел как теорией, так и навыками, необходимыми для экспериментатора. В одном из писем он писал: «За день можно придумать опытов и работ больше, чем сделать за год», — а в другом: «Я тружусь совершенно так же, как фабричный рабочий, потому что я тысячу раз повторяю каждое движение руки. Так, я часами только и делаю, что сверлю отверстия одно подле другого, гну жестяные полосы, потом часами лакирую их и так далее».

По ходу работы, Герц еще выяснил, что заряд конденсатора возрастает при его освещении ультрафиолетом — так был открыт внешний фотоэффект.

К несчастью, гениальный физик безнадежно заболел (туберкулез тогда не лечился) и должен был оставить эксперимен-

тальную работу. Во время болезни он смог решить исключительно важную теоретическую задачу: доказал, что, в отличие от подхода Ньютона, всю механику можно построить без введения понятия силы.

Генрих Герц был всесторонне талантлив. В школьные годы он отличался выдающимися способностями к языкам: помимо древних и основных европейских языков он так глубоко усвоил арабский, что его настойчиво уговаривали посвятить себя ориенталистике. На похоронах его наставник в токарном искусстве сказал, что он не знает каким Герц был физиком, но в его лице мир потерял гениального токаря и мастера...

4. Хендрик Антон Лорентц

Уравнения Максвелла ничего не говорят о строении вещества, в котором происходят электромагнитные процессы (сам Максвелл установил только, что диэлектрическая проницаемость веществ должна совпадать с квадратом их показателя преломления). Связь этих уравнений со свойствами среды последовательно начал выявлять голландский физик Хендрик Антон Лорентц (1853–1928).

Первой его работой в этом направлении стало установление связи между показателем преломления вещества (отношение скорости света в пустоте к скорости света в среде) и его поляризуемостью: чем больше поляризуемость и плотность среды, тем больше времени световые волны должны затрачивать при своем прохождении через среду на эти процессы и потому тем меньше будет их скорость (1878).

По иронии истории, это же соотношение несколько ранее и вне теории Максвелла установил датский физик Людвиг Валентин Лоренц (1829–1891). Поэтому полученный результат называется формулой Лоренц—Лорентца. С учетом уравнений Максвелла, ее можно переписать для диэлектрической проницаемости, и тогда она совпадет с известной ранее в теории электричества формулой Клаузиуса—Моссоти. Такое совпадение, кстати, еще раз подтверждает главное открытие Максвелла — электромагнитную природу света.

Основным в этом соотношении представляется то, что оно следует из предположения (тогда это было только предположением) о наличии в среде заряженных частиц, которые могут колебаться (в теории Клаузиуса—Моссоти предполагалось лишь смещение зарядов).



С 1880 г. научные интересы Лорентца связаны главным образом с кинетической теорией газов, описывавшей движение молекул, и с установлением соотношения между их температурой и средней кинетической энергией. Получив в этой области ряд важнейших соотношений и уяснив для себя возможности описания наблюдаемых свойств веществ через особенности движений и взаимодействий молекул, он, естественно, решает пойти аналогичным путем и в электродинамике.

Лорентц принимает предположение Джорджа Стони (1874) о том, что должны существовать какие-то элементарные заряженные частицы, для которых Стони в 1891 г. придумал слово «электрон». Но как увязать существование таких частиц с уравнениями Максвелла? К 1892 г. Лорентц решает, что если эта гипотеза справедлива, то нужно прямо из нее и из существования атомов (что еще предстояло доказать, но он в этом уже уверен) вывести основные уравнения: если такой вывод получится, то будет доказано существование электронов, положительных и отрицательных (Лорентц пока их всех называет электронами).

Он выводит фундаментальную формулу, определяющую силу воздействия магнитного поля на движущуюся заряженную частицу (сила Лорентца). Эта сила, в частности, определяет, как отклоняются заряженные частицы, испускаемые Солнцем, в магнитном поле Земли, и описывает тем самым полярные сияния. А если предположить, что электрический ток и есть движение электронов в проводнике, то рассмотрение их движения с учетом магнитного поля ведет к закону Ампера.

Так Лорентц строит электронную теорию, уравнения которой называют сейчас уравнениями Лорентца—Максвелла, и которая, при усреднении по всем частицам, переходит в унифицированную систему уравнений Максвелла.

Но электронная теория может вести и к другим, новым результатам. Введенные Лорентцем электроны могут, если они находятся в атомах, колебаться в них. А каждый колеблющийся электрический заряд должен излучать электромагнитные волны той же частоты, что и его частота колебаний. Именно эти частоты, утверждает Лорентц, должны определять спектральные линии Фраунгофера. Но как это доказать?

И Лорентц решает, что в магнитном поле к собственным колебаниям электронов должны добавляться колебания, вызванные полем. Энергии этих колебаний должны складываться, когда электрон колеблется в направлении поля, и вычитаться, если колебания происходят в противоположном направлении. Поэтому каждая спектральная ли-

ния должна в магнитном поле удвоиться, а расстояние между компонентами должно быть пропорционально приложенному полю.

Такой эксперимент ставит в 1896 г. Питер Зеeman (1865—1943, отметим, что он — сын деревенского священника — только в 27 лет смог поступить в университет) в том же Лейденском университете: теория полностью подтверждается, компоненты разделенных линий поляризованы в полном соответствии с предсказаниями теории, и Зеeman делит с Лорентцем Нобелевскую премию 1902 г. «в знак признания выдающегося вклада, который они внесли своими исследованиями влияния магнетизма на излучения». Эффект Зеемана (у Лорентца слишком много достижений, чтобы к каждому добавлять его имя) является с тех пор одним из самых известных в физике.

Казалось бы, теперь естественно повторить такой же эксперимент в электрическом поле, однако Иоганн Штарк (1874—1957, Нобелевская премия 1919) проводит его лишь в 1913 г. — несколько более слабое расщепление спектральных линий в электрическом поле называется эффектом Штарка.

Но перед Лорентцем маячит еще более сложная проблема — проблема эфира: что это такое, каковы его свойства? Почему опыт Майкельсона—Морли дает такой противоречивый результат? И Лорентц принимает в 1904 г. странное, казалось бы, но единственно возможное объяснение — независимо от него к такому же объяснению пришел и Джордж Ф. Фитцджеральд (1851—1901) — все тела сокращаются в направлении своего движения, время, с ростом скорости, начинает течь медленнее, и величина этого сокращения зависит от скорости движения (соответствующие формулы Эйнштейн, их обосновавший, называет преобразованиями Лорентца).

В это же время такие идеи высказывает и гениальный французский математик Анри Пуанкаре (1854—1912), но, как и Лорентц, он не вкладывает в них физического содержания: для него эти преобразования (в несколько расширенной форме их часто называют преобразованиями Пуанкаре) — не более чем математический трюк, вызванный обстоятельствами. Именно поэтому автором теории относительности является все же один лишь Альберт Эйнштейн.

Хотя Г. А. Лорентц был «чистым» теоретиком, именно ему после ухода на пенсию правительство доверило научную подготовку гигантского (аналогичного нет в мире до сих пор!) проекта осушения залива Эюдерзее, и проект, значительно увеличивший территорию страны, был успешно и в срок осуществлен. (Это не единственный пример, начисто опровергающий мнение о непрактичности ученых.)

Наблюдать, чтобы изобретать: от электронов к электротехнике

Глава 1

Спектры, электроны, атомы

1. Фраунгоферовы линии

По преданию, юный неграмотный углежог из лесов Шварцвальда Йозеф Фраунгофер (1787–1826), впервые попавший в город, неожиданно увидел витрину аптеки со стеклянными шарами, заполненными красочными жидкостями. Эта картина так его поразила, что он не вернулся к наследственной профессии приготовления древесного угля, а остался в городе, освоил в 13 лет грамоту, выучился и стал оптиком-механиком, затем руководителем, а потом и владельцем оптической мастерской, а в 1823 г. даже профессором Мюнхенского университета.

Фраунгофер усовершенствовал способы варки стекол различных видов, что улучшило качество оптических приборов, а также придумал новые способы обработки оптических линз, изобрел и построил новые приборы: первый спектрограф, ахроматический микроскоп и т. д. В отличие от Френеля, он изучал дифракцию не на круглых отверстиях, а на системе щелей (дифракция Фраунгофера), что позволило ему создать дифракционные решетки — ими проводить разложение света в спектр удобнее, чем призмой¹.

Со времен Ньютона нередко в солнечном спектре, если его удавалось широко развернуть, замечали какие-то темные линии, но их приписывали дефектам призм. Первым наличие постоянных черных линий в солнечном спектре отметил в 1802 г. У. Х. Воластон (1766–1828):

¹ Разложение в спектр, соответствующее дифракции Фраунгофера, легко наблюдать смотря под малым углом, почти касательно, на граммофонную пластинку или, еще проще, на лазерный диск для компьютера. Бороздки на них соответствуют отражательной дифракционной решетке.

он наблюдал спектр Солнца, образуемый щелями в оконном жалюзи — это давало более четкий спектр, чем призма Ньютона. В 1822 г. астроном Джон Ф. Гершель обнаружил, что если внести в пламя соли некоторых металлов, то в спектре пламени ясно видны такие же линии. Но только совершенные оптические приборы, построенные Фраунгофером, позволили утверждать, что эти темные линии, наблюдаемые в спектре Солнца, не являются дефектами аппаратуры.

С 1814 по 1824 гт. Фраунгофер записал сотни этих темных линий в спектрах Солнца и звезд, отраженного света Луны и других планет, а также измерил длины волн этих линий — с тех пор они называются фраунгоферовыми.

Оказалось, что эти линии имеют свои строго определенные места в любом спектре, т. е. они как-то характеризуют то ли само вещество, то ли процессы, которые происходят в пламени или в среде, через которую свет проходит. Однако дальнейшее исследование этих линий требовало уже профессионализма, которого у Фраунгофера не было.

2. Спектральный анализ

Густав Роберт Кирхгоф (1824—1887) занимался обобщением закона Ома на сложные разветвленные цепи, но главным его интересом были загадочные фраунгоферовы линии, плохо различимые при разложении света обычными призмами того типа, которым пользовался еще Ньютон. Но в 1857 г. он получил превосходную призму, отшлифованную самим Фраунгофером, и в этот же день вместе со своим другом химиком Робертом Вильгельмом Бунзеном (1811—1899) принялся выяснять связь между темной линией солнечного спектра, которую Фраунгофер обозначил буквой *D*, и яркой полосой на том же месте при горении вещества, в состав которого входил натрий. Оказалось, что если пропустить солнечный свет через сосуд с парами натрия, то известная темная линия в желтой части спектра становится еще темнее — так что можно думать, что ее появление связано с особенностями именно натрия. При этом обе линии, темная в спектре поглощения и светлая в спектре испускания, оказались точно на одном месте. В этот же вечер Кирхгоф сформулировал свой знаменитый закон: каждое тело в нагретом состоянии излучает те длины волн, которые оно поглощает в холодном состоянии.

С 1859 г. Кирхгоф и Бунзен совместно занялись систематическим исследованием этих линий. Бунзен к тому времени изобрел знаменитую, используемую и сейчас газовую горелку, дающую яркий и, главное, белый, почти без линий свет, а также фотометр, позволяющий

измерять силу света на различных длинах волн, и разработал методы газового анализа. Кирхгоф разработал и построил спектрограф, позволяющий делить видимый спектр на 30 тыс. частей и с такой точностью определяющий местоположение линий спектров.

Сотрудничество двух ученых (чуть ли не впервые — физика и химика) оказалось чрезвычайно плодотворным. Изначальная гипотеза, по-видимому, была такой: каждому химическому элементу должен соответствовать свой набор спектральных линий. Поэтому измерения, которые они проводили, должны были носить следующий характер. Берется химически чистый элемент, например, натрий, и превращается в пар. Через этот пар в холодном состоянии пропускается белый свет и раскладывается в спектр — на призме или на дифракционной решетке. В желтой части спектра фиксируется наличие двух интенсивных и близких линий поглощения. Затем этот газ нагревается и сам становится источником излучения — в его спектре фиксируются две линии излучения в желтой области с такими же длинами волн, что и в спектре поглощения. (Сейчас для подобных исследований выпускают «спектрально чистые вещества», тогда, конечно, несмотря на все искусство Бунзена, приходилось работать с «грязными» образцами — брать разные соединения, скажем, натрия и отыскивать линии, повторяющиеся во всех соединениях.)

Уже через два дня после отладки спектрометра были открыты два новых элемента: цезий и рубидий — их линий не было в общем каталоге. Позже именно таким образом, но сперва на Солнце, в его спектре, был обнаружен элемент гелий. А проведя так бесчисленное количество измерений (у железа, например, десятки линий в видимой области спектра) Кирхгоф и Бунзен доказали, что каждому химическому элементу соответствует свой набор линий: в холодном состоянии это линии поглощения, а в нагретом — линии испускания.

Таким образом, Кирхгоф и Бунзен создали мощный метод исследования веществ — спектральный анализ (1859): по крупинке вещества в доли миллиграмма теперь можно установить какие элементы присутствуют в этом образце, а по относительной яркости линий — их процентное отношение (криминалисты могут, например, сказать из золота какого месторождения сделано изделие — в каждом из них свой набор примесей).

Спектральный анализ оказался востребованным в астрофизике не только для выяснения состава звезд. Дело в том, что во время полного солнечного затмения можно видеть на краю диска явления, происходящие в солнечной фотосфере, наружной его части — грандиозные протуберанцы, но такие затмения слишком редки. А тут оказалось,

что поскольку фотосфера более холодная, то в ней возникают темные линии поглощения, и поэтому можно на соответствующих длинах волн фотографировать фотосферу и при ярком Солнце: «теперь у нас все дни полное солнечное затмение» — телеграфировали на радостях Кирхгофу из индийской обсерватории.

Один очень характерный эпизод истории науки: известный и популярный философ Огюст Конт (1798–1857), создатель позитивизма, учения, требующего не отвлекаться на задачи, заведомо не решаемые, к числу именно таких задач относил исследование химического состава небесных тел — и писал он об этом буквально за год до возникновения спектрального анализа, с блеском решившего «принципиально нерешаемую» проблему.

И еще один эффект, нашедший применение в астрофизике: оказалось, что спектры некоторых звезд целиком сдвинуты в красную или фиолетовую области. Эти сдвиги можно было отнести только к движению самих источников (эффект Доплера) и по их величине вычислить скорости движения звезд, точнее — компоненту скорости в направлении наблюдателя (далее мы расскажем о роли этого эффекта в космологии²).

Спектр излучения Солнца не ограничивается видимой частью. Мы уже говорили, что великий астроном У. Гершель поместил за красным концом спектра зачерненный шарик термометра и показал, что он эффективно нагревается — так было открыто инфракрасное излучение. А в 1840 г. его сын, астроном и физик Дж. Гершель, придумал остроумный способ «фотографирования» этой части спектра: он покрыл полоску бумаги клеем с копотью и смочил ее спиртом — если направить на эту бумагу солнечный спектр, то чем интенсивнее та или иная его часть, тем быстрее на ней идет испарение. Таким образом, по степени влажности можно судить об интенсивности излучения, но решить проблему наличия в этой части спектра линий удалось много позже. (Сложности возникали потому, что обычные фотоматериалы не фиксируют уже красную часть спектра, а тем более инфракрасную; именно поэтому в фотолабораториях до сих пор пользуются красными светильниками.)

В 1801 г. Воластон показал, что за фиолетовым концом спектра находятся лучи, вызывающие потемнение хлористого серебра, а в 1842 г. А. Э. Беккерель (1820–1891, отец «открывателя» радиоактивности) смог уже сфотографировать ультрафиолетовую часть спектра и показать, что в ней также имеются фраунгоферовы линии.

Инфракрасные лучи не проходят через атмосферу, и потому было невозможным исследовать с их помощью состав небесных тел, но в 60-х гг. XX в. начали поднимать спектральную аппаратуру на боль-

² См.: Перельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел I. Глава 3.

шие высоты, а затем был запущен на орбиту инфракрасный телескоп «Хаббл». Уже первые исследования в области инфракрасной астрономии выявили совершенно неожиданный факт: оказалось, что в протопланетных облаках, окружающих молодые звезды, образуется довольно много простых органических веществ, которые затем могут попадать в недра возникающих планет. Это заставляет по-иному взглянуть не только на проблему возникновения жизни на Земле — этап начала возникновения органических веществ считался одним из самых долгих, но и на процессы образования нефти, а также на проблемы поиска ее месторождений.

К началу XX в. выяснилось, что не только у атомов, но и у молекул имеются свои характерные линии, но они лежат не в видимой области, а в инфракрасной части спектра, и чем сложнее молекула, тем, вообще говоря, дальше ее линии от видимого спектра. Метод инфракрасной спектроскопии стал одним из основных в физической химии при исследовании органических веществ и т. д.

нетных облаках, окружающих молодые звезды, образуется довольно много простых органических веществ, которые затем могут попадать в недра возникающих планет. Это заставляет по-иному взглянуть не только на проблему возникновения жизни на Земле — этап начала возникновения органических веществ считался одним из самых долгих, но и на процессы образования нефти, а также на проблемы поиска ее месторождений.

В проблеме спектров оставалась, правда, одна фундаментальная неувязка: набор линий каждого элемента представлялся совершенно хаотическим — в ходе анализа приходилось просто сверять полученные длины волн линий с огромными их каталогами. (Это неудобство осталось и сейчас, только соответствующие компьютерные программы несколько облегчают поиск.)

Проблема эта упростилась (или запуталась еще больше — в зависимости от точки зрения) таким образом. Рассказывают, что Иоганн Яков Бальмер (1825—1898) поспорил как-то с приятелями, что поистине случайных явлений не бывает, что всегда можно, вводя несколько каких-то постоянных, установить взаимосвязь между, казалось бы, совершенно случайными цифрами. Ехидные приятели начали подзуживать школьного преподавателя физики: что может быть более случайным, чем тысячи непонятно как расположенных линий в спектрах разных газов? Бальмер принял вызов и засел за спектр водорода — ему удалось-таки оправдать свое утверждение и подобрать формулу, которая объединяла длины волн некоторых линий и в которую входило всего три никак не объясняемых постоянных числа. (Позднее в спектре водорода установили и другие последовательности линий — серии Лаймана, Пашена, Брэкетта и Пфунда.)

Объяснить этот результат и вывести все эти постоянные смог только Нильс Бор через тридцать лет.

Объяснить этот результат и вывести все эти постоянные смог только Нильс Бор через тридцать лет.

3. Катодные лучи

С несколько иных экспериментальных позиций к спектральным проблемам подошел Юлиус Пюккер (1801—1868), известный геометр и физик. Вместо того, чтобы нагревать газ, он помещал его в трубку

с двумя электродами на концах и пропускал через нее электрический ток — газ светился (1855). Почти одновременно с Кирхгофом и Бунзеном он устанавливает, что цвет свечения определяется спектральными линиями данного газа (такие разноцветные трубки используются сейчас в рекламе). Но важнее всего для нашего рассказа такое его наблюдение: он обнаружил (1859), что из катода, отрицательного электрода трубки, исходят какие-то лучи.

Свойства этих лучей начал изучать Евгений Гольдштейн (1850—1930): он установил, что они распространяются прямолинейно, но отклоняются в магнитном поле, а если в аноде, куда они устремляются, проделать отверстие, то они выходят через него и идут дальше («канальные лучи Гольдштейна», именно такие «лучи» и создают изображения на экране телевизора).

Более детальным исследованием этих лучей занялся Уильям Крукс (1832—1919): для этого он сконструировал множество разновидностей трубок («трубки Крукса»), в которых на пути катодных лучей помещались различные приборы и вещества. Так, он сумел доказать, что эти лучи вызывают нагрев облучаемого вещества (в трубку входил кончик термометра), и что они приводят к свечению некоторых веществ, помещаемых в трубки — так была открыта катодолюминесценция. Но далее мнения резко разошлись: английские ученые отстаивали версию о катодных лучах как потоке неких частиц, немецкие физики продолжали считать их продольными волнами эфира; «национальный» спор разрешил француз — Жан Батист Перрен (1870—1942) экспериментально доказал в 1895 г., что они несут отрицательный заряд и потому не могут являться волнами.

В 1897 г. Карл Фердинанд Браун (1850—1918, Нобелевская премия 1909) создает трубку, в которой уже всем движением этих лучей управляет магнитное поле: на передней части трубки, покрытой сцинтиллятором, луч рисует картинку — это был первый, еще только магнитный осциллограф, предшественник телевизора (сцинтилляторы — это вещества, дающие краткую вспышку при ударе электроном и т. п., название от латинского «сцинтилляцио» — сверкание, искрение).

Исследование катодных лучей становилось все более популярным и в него вовлекалось все большее число ученых: сенсации следовали одна за другой.

Заметив, что катодные лучи, казалось, имеют массу и скорость, Крукс считал их «четвертым состоянием материи», в отличие от жидкого, газообразного и твердого, он даже полагал, что это таинственная «эктоплазма», духи, появляющиеся в спиритических сеансах — после его публикации на время резко возрос спрос на «духов», привидений и т. п.

4. Рентген и его лучи

Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923) был типичным немецким профессором, скрупулезно аккуратным и добросовестным в работе. Он открыл такое явление: при движении дизлектрика в электрическом

Рентген очень придирчиво относился как к своим работам, так и к своим ученикам. Поэтому из-за требований строжайшей аккуратности и точности он очень мало в дальнейшем публиковал. Сильно пострадал из-за этого его любимейший ученик и официальный (по завещанию) наследник Абрам Федорович Иоффе, будущий «папа» советской физики: он скрупулезно измерил заряд электрона, но Рентген требовал все более тщательных проверок, а за это время Милликен опубликовал свои несколько более точные измерения и получил Нобелевскую премию.

поле в нем возбуждается магнитное поле (рентгенов ток, 1885), это явление существенно помогло Лорентцу при создании электронной теории. Затем он исследовал воздействие электрического поля на оптические характеристики кристаллов и т. д., но в историю вошел с совсем другим открытием.

Рентген не избежал всеобщего поветрия и перешел к изучению катодных лучей. Как-то рядом с разрядной трубкой, трубкой Крукса, где и возникали катодные лучи, у него стоял экран, покрытый составом, светящимся под воздействием электронов. Завершив, как всегда, точно к концу рабочего времени дневную работу, пятидесятилетний

После обнаружения рентгеновского излучения и последовавшего за ним открытия радиоактивности поиски новых типов лучей стали очень модными: «открывали» множество новых и очень необычных «излучений». Характерным примером может служить «открытие» N-лучей, которое сделал Рене Проспер Блондло (1849–1930), до того — заслуженный ученый, доказавший, кстати, что рентгеновские лучи являются электромагнитными. Его N-лучи свободно проходили через металлы и преломлялись почему-то алюминиевой призмой: но во время показа этой их способности в зале был, к несчастью для Блондло, известный оптик и остроумец Роберт Вуд (1868–1955) (обратим внимание читателей на великолепную книгу Р. Сибрука «Роберт Вуд, чардей физического эксперимента» (несколько изданий): Вуд незаметно вытащил алюминиевую призму из спектроскопа, а Блондло продолжал уверять видевших все зрителей, что его лучи все еще преломляются и их видно — история с N-лучами на этом закончилась, но открытия новых «излучений» продолжают и сейчас. (Проблема эта относится либо к области психиатрии, либо должна проходить по ведомству Остапа Бендера.)

Рентген аккуратно все выключал, прибирал и возвращался в свою столь же аккуратную квартиру. И вот однажды в 1895 г., погасив свет в лаборатории и уже находясь у выходных дверей, он случайно обернулся и заметил, что тот самый экран все еще светится. Рентген удивился своей забывчивости, но когда подошел, чтобы выключить ток, поразился еще больше: экран стоял не на пути электронов из трубки, более того — между ними были какие-то предметы, но он светился, хотя и слабо.

Тут стало уже не до заведенного порядка: Рентген двигал экран в разные стороны, подставлял препятствия и наблюдал за его слабым свечением всю ночь. Когда его потом спросили, о чем он подумал, увидев свечение экрана, Рентген ответил: «Я исследовал,

а не думал», — но вывод после этих исследований мог быть только один: из трубки, точнее из анода, о который ударялись электроны, исходили какие-то неизвестные лучи. Лучи эти могли проходить через многие препятствия и давали, например, фотографическое изображение монет в закрытом кошельке и костей в кисти руки жены Рентгена (это два первых сенсационных рентгеновских снимка).

Шесть недель непрерывных, очень точных и аккуратных опытов завершили эти исследования, отчеты о них были перепечатаны почти всеми газетами мира, открытие было столь неожиданным и потрясающим, что не все в него сразу поверили, а лорд Кельвин объявил его сгоряча мистификацией. Однако очень скоро имя Рентгена, уже со строчной буквы, стало общепринятым названием медицинской процедуры, а сам он был удостоен первой Нобелевской премии 1901 г. (В английской литературе эти лучи, по первому предложению самого Рентгена, называются до сих пор X-лучами, в русском же они, вопреки правилам грамматики, как бы оторвались от автора и вместо рентгеновых стали рентгеновскими.)

Однако о природе этих лучей — волны или частицы — ничего нельзя было сказать!

Нашлись, конечно, люди, утверждавшие, что они видели эти лучи раньше, и это была, по-видимому, правда (А. У. Гудспид из Пенсильвании даже случайно получил на пять лет раньше рентгеновский снимок), но правда и в том, что они не смогли толком обдумать увиденное и совершить открытие. Наиболее громкогласным из них был Филипп Ленард (1862—1947, Нобелевская премия 1905), некогда ассистент Г. Герца, исследовавший многие свойства катодных лучей при их прохождении через тонкое металлическое окошко в трубке Крукса. Ленард продолжил работу Герца по фотоэффекту и доказал, что при этом вылетают электроны, энергия которых не зависит от интенсивности света (1902, эти закономерности объяснил Эйнштейн в 1905 г.).

Недосмотр Ленарда состоял в том, что он изучал только проходящие насквозь лучи и не смотрел на отраженные назад и вбок — все немецкие физики того времени были уверены, что катодные лучи

Ленард позже стал фанатичным приверженцем нацизма. Он выпустил в 1935—1937 гг. «Немецкую физику» в 4 томах, где доказывал, что все важные открытия сделаны только истинно арийскими учеными. Особенно яростным его нападкам подвергался Эйнштейн со своей теорией относительности. Психологически ясно, что непомерное самомнение Ленарда было оскорблено тем, что два его основных открытия неизменно ассоциируются с евреями: Г. Герцем, открывшим фотоэффект, и А. Эйнштейном, объяснившим Ленарду его собственные эксперименты и удостоенному именно за это Нобелевской премии (против Рентгена, стопроцентного арийца, он воевал по иным соображениям). К нацизму примкнул и И. Штарк, некогда сотрудничавший с Эйнштейном; заметим, что Штарк — единственный лауреат Нобелевской премии, вложивший ее в коммерческое предприятие, он приобрел макаронную фабрику.

связаны со свойствами эфира. Однажды Ленард даже заметил, что фотопластинки, находящиеся вблизи катодной трубки, затуманились, но счел это случайностью и просто отодвинул их — пластинки он спас, но потерял открытие.

5. Дж. Дж. Томсон: открытие электрона



Когда Джозеф Джон Томсон (1856—1940, Нобелевская премия 1906) уходил в отставку с поста заведующего Кавендишской лабораторией Кембриджского университета, который он занимал в 1884—1919 гг., то, как полагается, представил отчет о работе за эти 35 лет: отчет уместился на половине страницы — это был список его учеников, удостоенных Нобелевской премии (7 человек!) и избранных в Королевское общество (27 человек!)³.

Основным достижением Джи-Джи (так его называли сотрудники, а за ними и все остальные — фамилия Томсон едва ли не самая распространенная в Англии) было, несомненно, открытие электрона (1897). Все в тех же катодных лучах, которые исследовали — не замечая или не умея выделить главное — десятки физиков в разных странах, он сумел, тщательно замеряя отклонения лучей в электрических и магнитных полях, доказать существование электронов, измерить отношение величин их массы и заряда. В его экспериментах внутри трубки Крукса находились, попеременно, электроскоп, измеряющий заряд попадающих на него частиц, и вертушка, позволяющая определить по скорости вращения импульс частиц. Приборы следовало бы двигать, чтобы сканировать (отслеживать) эти параметры по сечению потока лучей, т. е. составляющих их электронов. Вместо этого Томсон с помощью прилагаемых полей отклонял сам поток частиц (теорию движения частиц в этих полях он и разработал, его расчеты являются классическими, используются они и сейчас).

В 1899 г. Томсон показал, что фототок, возбуждаемый, согласно Герцу, при облучении (в основном ультрафиолетом) отрицательной

³ Ученики Джи-Джи, следуя его традициям, также воспитывали учеников — первоклассных ученых. Так, учениками Оуэна У. Ричардсона (1879—1959, Нобелевская премия 1928 за исследование термоэлектронной эмиссии) были будущие лауреаты А. Х. Комптон и К. Дж. Дэвиссон. О другом знаменитом ученике Томсона — Резерфорде см. ниже (*Перельман М. Е. От кванта до темной материи. Раздел I. Глава 2*).

пластины конденсатора, состоит из электронов. Таков же и ток, выпускаемый в электрическом поле нагретым металлическим катодом — это явление термоэлектронной эмиссии, на нем основана работа электроннолучевой (телевизионной) трубки и т. п.

Но теперь встает вопрос: а где же и в каком состоянии находятся эти электроны в электрически нейтральной среде? Лорентц в своей электронной теории предполагал, что существуют частицы обоих знаков заряда. Томсон почти 10 лет упорно ищет положительно заряженные частицы и... не находит их.

Остается предположить, что таких частиц вообще нет: есть только отрицательно заряженные электроны (теперь это общее некогда название закрепляется только за ними) и некоторая неразделяющаяся на частицы материя, содержащая положительные заряды. Но ведь все вещества состоят из атомов, и поэтому такая материя должна содержаться в атомах, которые в целом нейтральны.

Так Томсон строит электрическую модель атома (чуть ранее близкую модель предложил лорд Кельвин) — положительно заряженный пудинг (такой образ мог возникнуть только у истинного англичанина), в который вкраплены изюминки-электроны; пудинг можно заменить киселем, а изюм — вишенками. Эти изюминки, считает Томсон, можно разделить на группы, рассмотреть их конфигурацию и вывести отсюда разделение на группы химических элементов. (Томсон будет радоваться, когда его ученик Э. Резерфорд опровергнет эту модель и предложит новую, он даже уступит Резерфорду свою лабораторию.)

Помимо того, Томсон развивал электронную теорию металлов. А еще он обнаружил, что существуют два несколько отличных атома неона, т. е. нашел первые изотопы, ему же принадлежат первые идеи масс-спектрографа.

Эти работы продолжил его ученик Френсис Уильям Астон (1877—1945, Нобелевская премия по химии 1922), создавший масс-спектрометр, прибор, в котором разогнанные в электрическом поле ионы вещества отклоняются затем магнитным полем. Поскольку радиус их поворота в магнитном поле зависит, при равных скоростях и зарядах, от массы, то в этом приборе можно разделить атомы, скажем, урана на изотопы с отличающимся атомным весом и несколькими различными свойствами (так, уран-238 слабо радиоактивен, а его изотоп уран-235 уже пригоден для атомного оружия и т. д.)

В молодости Баркла долго выбирал между карьерами физика и оперного певца-баритона. Эта раздвоенность все же сказалась: уже став Нобелевским лауреатом, он никак не хотел поверить в существование квантов излучения и исследовал какое-то «новое излучение», которое никем больше не наблюдалось.

Большую роль в выяснении различия между атомами разных веществ сыграли эксперименты с рентгеновскими лучами, которые провел Чарлз Г. Баркла (1877–1944, Нобелевская премия 1917). До них одни физики считали, что эти лучи представляют собой электромагнитное излучение, тогда как другие полагали, что они состоят из частиц. Баркла в 1904 г. показал, что эти лучи являются электромагнитными волнами, которые возникают при торможении электронов, ударяющихся в анод катодной трубки. Изучая рассеяние лучей на разных веществах он установил, что интенсивность рассеяния увеличивается пропорционально атомному весу вещества, на котором происходит рассеяние. А Генри Мозли (1887–1915, погиб на фронте) объяснил эти результаты тем, что с ростом атомного номера растет число электронов в атоме и, соответственно, заряд атомного ядра: тем самым он объяснил смысл порядкового номера элемента в таблице Менделеева — до того он был совершенно абстрактным.

Электротехника и радиотехника

Мефистофель:

*— Суха, мой друг, теория везде,
А древо жизни пышно зеленеет.*

И. В. Гете. Фауст

1. Источники электрического тока

В этом пункте мы несколько отступим от принятого стиля изложения и попробуем рассмотреть проблему источников тока с общей точки зрения, а потом некоторые из них опишем более детально.

Электрический ток вызывается направленным движением зарядов, в основном электронов. Скорость распространения тока определяется скоростью передачи взаимодействия между зарядами, а она имеет порядок скорости света, т. е. близка к 300 000 км/с, при этом скорость самих электронов обычно около 1 см/с. Для того чтобы возник ток, необходимо иметь подвижные носители заряда и суметь сообщить им как энергию, так и импульс в нужном направлении.

Источники тока можно подразделять по типам исходной энергии, превращаемой в энергию тока: механической, тепловой, световой, химической, ядерной. Но можно подразделить на две группы и по такому признаку: в первую группу войдут те, в которых заряды могут свободно передвигаться и им нужно лишь придать импульс в определенной направлении, а во вторую — такие, в которых нужно предварительно эти заряды разделить.

Первую группу образуют источники, использующие особенности структуры металлов: положительные ионы в них образуют решетку, а электроны могут — более или менее свободно — двигаться между ними. При этом одинаковые по химическому составу вещества могут, в зависимости от типа решетки, быть как проводниками, так и изоляторами: графит — проводник, а алмаз — изолятор, хотя оба состоят из чистого углерода. (Можно утверждать, что при достаточном сжатии любое вещество должно стать проводником, поскольку тогда электроны смогут перескакивать от одного иона к другому.)

Итак, в металле заряды уже находятся в различном положении: положительные ионы закреплены, а электроны могут перемещаться. Следовательно, достаточно направить их движение в определенную сторону — это и делает направленный поток тепла в явлении термоэлектричества (эффект Зеебека) и изменяющееся магнитное поле в явлении электромагнитной индукции (эффект Фарадея). Работа термоэлементов (мы говорили о них при описании опытов Г. Ома) основана на том, что электроны в металле образуют «электронный газ», давление которого отличается в разных металлах, и поэтому в зоне контакта возникают их потоки, направленные из одного металла в другой. А изменение магнитного поля в эффекте Фарадея приводит, благодаря силе Лорентца, к изменению направления движения зарядов.

Именно последний эффект и используется в современной энергетике, но получают его путем сжигания минерального топлива — нефти, газа и угля, очень неравномерно распределенных в мире и к тому же невозможных. Поэтому все более широко исследуются возможности нетрадиционной энергетики. Сюда относятся, например, использование термоэлектрических батарей с погружением, скажем, одного конца такой цепи глубоко в недра Земли, т. е. использование внутренней энергии недр. Непрерывно разрабатываются ветряные движители, приливные электростанции, накапливающие воду в бассейнах во время высоких приливов в некоторых местах побережий.

Источники с предварительным разделением зарядов — это химические элементы (обычные батареи и топливные элементы), а также фотоэлементы. При этом упорно рассматриваются возможности солнечных фотоэлементов, хотя до сих пор трудно снизить их цену и так поднять КПД, чтобы добиться коммерческой окупаемости. Разрабатываются и источники электроэнергии с прямым преобразованием атомной энергии в электрическую, но все они еще далеки от практических запросов.

2. Электрогенераторы и электромоторы

И все же, как и полтора века тому назад, основным способом получения электроэнергии остается преобразование энергии механического вращения проводящего контура (обмотки из проводов) в магнитном поле, т. е. эффект электромагнитной индукции Фарадея (еще раз напомним, что король Георг IV со смехом спрашивал у Фарадея может ли быть какая-нибудь практическая польза от этих его забав).

Первый генератор тока, как и первый электромотор, построил, фактически, сам Фарадей. Он, однако, не очень интересовался прак-

тическими приложениями своих открытий, и поэтому развитием этих работ занялись многочисленные изобретатели.

Первые генераторы тока были магнитоэлектрическими, т. е. постоянный магнит (ротор) вращался внутри неподвижной катушки с проводами (статор) или рядом с ней так, чтобы изменения магнитного поля были максимальными. Во втором варианте магнит оставался неподвижным (он служил статором и мог быть очень тяжелым), а вращалась катушка, но тут сразу же возникала проблема: как снимать ток со вращающейся катушки?

Вскоре для этого были приспособлены кольца: выводы катушки присоединялись к двум вращающимся кольцам на оси машины, по ним скользили неподвижные контакты-щетки и, если так можно выразиться, сметали с них поступающие заряды. Правда, ток при этом получался переменным, так как при каждом повороте на 180 градусов направление магнитного поля в катушке менялось на противоположное. Но вскоре сообразили, что вместо двух колец можно сделать два полукольца: при повороте на 180 градусов полукольцо подходит уже к другому контакту, и потому ток в нем всегда имеет одно направление, но при этом, конечно, остается пульсирующим — меняется за каждую половину периода от нуля до максимума и обратно. (Положение частично исправляется подключением конденсаторов: они заряжаются на максимуме тока и отдают его при снижении, есть и другие возможности.)

Разобраться в том, кто из изобретателей внес тот или иной вклад в создание электрогенераторов (и электромоторов) очень трудно — множество людей работали одновременно, да это и не входит в нашу задачу. Можно лишь сказать, что наиболее значителен вклад Зеноба Теофила Грамма (1826—1901) во Франции и Эрнста Вернера Сименса (1816—1892) в Германии: главное их достижение — создание динамомашин.

С самого начала им стало ясно, что использование постоянных магнитов, громоздких и малоэффективных, не является необходимым (1867), но замена их электромагнитами требует добавочных источников тока — такая замена легко осуществима в электромоторах, но что делать с генераторами?

И вот тут, как много позднее писал сам Вернер Сименс, возникла основная идея: в любом электромагните сохраняется, при его выключении, некая остаточная намагниченность. Поэтому если начать вращать ротор динамомашин, а возникающий, пусть в начале и слабый, ток посылать в его же обмотки, то магнитное поле в них начнет усиливаться и генерация тока возрастет. Таким образом, динамомашин

сама себя подстраивает под нужный режим, сама подпитывает свои электромагниты, и никакие добавочные устройства уже не нужны!

И вот, в 1879 г. Вернер Сименс строит и пускает в эксплуатацию первый в мире электрический трамвай. Сименсу принадлежит много изобретений, в частности машины для нанесения резиновой изоляции на провода (вспомним, что жена М. Фарадея вручную наматывала нитки на проволоку!), электроплавильной печи и т. д., а также ряд новых физических приборов, поэтому его именем названа единица электропроводности (сименс или обратный ом). Интересно отметить, что научными опытами Сименс, офицер артиллерии, впервые заинтересовался и занялся в тюрьме, куда попал за участие в дуэли. Организованные им электротехнические предприятия и фирмы процветают до сих пор.

3. Химические источники тока

Химические источники тока работают на совсем иных принципах: в них нужно сначала разделить заряды. Химические источники можно разделить на два типа: батареи (химические элементы — ХЭ) и топливные элементы — ТЭ. ХЭ, начиная с элемента Вольта, строились на использовании энергии образования солей металлов. Во всех них в раствор слабого электролита (кислоты или щелочи) погружаются два электрода из разных проводников. Молекула активного вещества электролита распадается в растворе на два иона (например, для соляной кислоты: $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$), отрицательный ион подходит, преимущественно, к тому катоду, от которого легче отщепить положительный ион металла и тем самым как бы отдать свой лишний электрон — связь иона металла с ионом кислоты энергетически выгодней ($\text{M} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{MCl} + \text{e}^- + \text{энергия}$). Таким образом, катод заряжается отрицательно, а анод, к которому подходит ион водорода — положительно. Если теперь соединить электроды проводником, электроны с катода устремятся в направлении анода, по цепи потечет ток.

Таким образом, ХЭ преобразуют энергию химической связи в электрическую. Но ведь обычное горение — это тоже выделение химической энергии, энергии окисления. Эта энергия обычно используется для превращения воды в пар, который затем вращает роторы электрогенераторов. Но как при нагреве воды, так и при последующей работе пара неизбежны потери. А нельзя ли придумать способ прямого преобразования энергии окисления (горения) в электрическую энергию?

Оказывается, такой способ давно известен: его придумал еще в 1838 г. Уильям Роберт Гроув (1811–1896) — это водородно-кислород-

ный топливный элемент (ТЭ). И основан он на явлении электролиза, изученного Фарадеем, точнее, является как бы обратным к нему: при электролизе энергия тратится на разделение зарядов, а в ТЭ она выделяется при их перераспределении — от молекул с малой энергией связи к молекулам с большей энергией связи — эта разница и приводит заряды в движение.

Что же горит в таком элементе? Обычный процесс горения (дерево, уголь, нефть, газ) заключается в окислении содержащихся в них атомов углерода, т. е. в образовании углекислого газа ($C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{тепло}$), но для этого, для отщепления отдельных атомов углерода, все топливо нужно нагреть и смешать с кислородом воздуха.

А для чего нужен предварительный нагрев топлива? Оказывается, процесс горения состоит в том, что атомы углерода и атомы (молекулы) кислорода предварительно ионизируются, т. е. теряют или приобретают электроны, а затем начинают действовать электрические силы между ними. Иными словами, горение — это обмен электронами между атомами, а ведь электрический ток — это направленное движение электронов, и если заставить электроны в процессе химической реакции совершать работу, то температура процесса горения будет понижаться. В ТЭ такое разделение атомов или молекул происходит не из-за нагрева, а вследствие пребывания в электролите — это процесс электролитической диссоциации (от латинского «разделение»). При этом электроны отбираются у реагирующих веществ на одном электроде, отдают свою энергию в виде электрического тока и присоединяются к реагирующим веществам на другом.

Как и любой элемент, ТЭ состоит из анода, катода и электролита. На аноде окисляются, т. е. отдают электроны, а иногда и расщепляются молекулы топлива (например, водород H_2), свободные электроны с анода поступают во внешнюю цепь, а положительные ионы (H^+) удерживаются на границе анод-электролит. С другого конца цепи электроны подходят к катоду, на котором электроны присоединяются к окислителю (ион O^{2-}) и переносятся электролитом к катоду, где и образуются отходы производства — чистая вода, если горючим был водород.

Таким образом, в ТЭ сведены вместе все три фазы физико-химической системы: газ (топливо, окислитель), электролит (проводник ионов), металлический электрод (проводник электронов). Электрохимическое горение может идти при невысоких температурах и практически без потерь. Так что выгоды развития ТЭ — очевидны: они экологически чистые, у них достаточно высокий КПД, вопрос упирается

лишь в стоимость добычи водорода, если производить его разложением воды⁴.

Отметим, что идея использования ТЭ в большой энергетике была сформулирована еще в 1894 г. знаменитым физико-химиком Вильгельмом Оствальдом (1853—1932, Нобелевская премия по химии 1909). Но первое практическое применение ТЭ нашли на космических кораблях «Аполлон»: они были основными энергоустановками для питания бортовой аппаратуры и обеспечивали космонавтов водой и теплом⁵.

Можно также заметить, что именно ТЭ используются в живой природе при создании токов в нашем организме на биологических мембранах. В определенных случаях (например, у электрических скатов) последовательное соединение биологических ТЭ может приводить к высоким, в несколько сот вольт, напряжениям.

4. Телеграф

Первым устройством, где практически было применено электричество, стал телеграф.

Быстрая передача несложного закодированного сообщения типа «враг приближается» или «коронация состоялась» издавна осуществлялась зажжением костров на высоких местах, сигналами колоколов, зеркалами, отражающими солнечные «зайчики». Только в 1791 г. братья Клод и Игнасий Шапп догадались построить «оптический телеграф» или семафор («несущий знаки», по гречески): на высоких столбах находились два подвижных рычага, различные положения которых означали буквы, наблюдатель на следующей передающей станции (на расстоянии 5—10 км) повторял эти комбинации и т. д. По такой системе, при условии хорошей погоды, передавалось, в среднем, по три буквы в минуту.

Первый проект электрического телеграфа разработал в 1809 г. баварский врач Земмеринг: в его аппарате от передатчика к приемнику шли 24 провода, их кончики входили в сосуд с подкисленной водой,

⁴ Заметим, что недра нашей планеты насыщены водородом, причем не исключены и месторождения именно газообразного водорода в скоплениях разных кристаллов: существует немало кристаллов, в решетку которых могут встраиваться атомы легкого газа. (Рекордсменом является палладий, металл группы платины, — без особых внешних нарушений он может вместить громадное количество водорода внутрь своей решетки. Поэтому он давно уже используется на подводных лодках для поглощения водорода, выделяющегося при работе аккумуляторов.)

⁵ Сейчас в США и Японии ведутся работы по строительству типовых коммерческих ТЭ. Если первая топливная электростанция Эдисона в Нью-Йорке, мощностью 4,5 МВт, занимала территорию в 1,3 га, то для станций ТЭ мощностью в 11 МВт нужна площадка 30х60 м. Такая электростанция строится за 7 месяцев, а ее срок службы около 30 лет.

и когда по паре проводов шел ток, то около их кончиков вода начинала разлагаться и выделялись пузырьки кислорода или водорода. Оператор должен был это заметить и записать соответствующую букву.

Это устройство было, конечно, мало практично, но оно натолкнуло К. Ф. Гаусса на мысль заняться телеграфией. В ходе работ по электродинамике он и Вильгельм Эдуард Вебер (1804–1891) изобрели стрелочный гальванометр, т. е. прибор, измеряющий, в зависимости от способа включения, силу тока или напряжение в цепи. В 1833 г. протянув провода из городской лаборатории в загородную обсерваторию они смогли переговариваться с помощью гальванометра: различные отклонения стрелки означали разные буквы — это фактически и был первый электрический телеграф.

Начало практическому использованию телеграфа положил такой случай. В 1832 г. живописец Самуэль Ф. Б. Морзе (1791–1872) возвращался из Европы в Америку, на этом же пароходе оказался пассажир, который развлекал общество рассказами о научных чудесах, виденных им в Париже. Морзе, посещавший в университетские годы лекции по электричеству, был взволнован рассказом о новом для него приборе — электромагните. Тут же ему пришла в голову мысль об использовании электромагнитов в телеграфии. Уже к 1835 г. он построил свой первый аппарат: когда оператор нажимал кнопку и вклю-

Пример Морзе показывает (далее мы еще будем с этим сталкиваться), что многие важнейшие изобретения делаются дилетантами, т. е. людьми, которые не знают, что «этого сделать нельзя», или молодыми людьми, не усвоившими профессиональных догм (повидимому, такие догмы или предрассудки укрепляются в подсознании как категорический императив). В крайней форме этот парадокс выразил Генри Форд: «Если бы я хотел убить своих конкурентов честными средствами, я предоставил бы им полчища специалистов. Получив массу хороших советов, мои конкуренты не смогли бы приступить к работе».

чал так цепь, то в приемнике, на любом расстоянии, этот ток, проходя через катушку, возбуждал магнитное поле в сердечнике и притягивал рычажок (такое устройство называется реле). На конце рычажка находился грифель или перо с чернилами, а под ним непрерывно протягивалась бумажная лента, на которую наносились знаки.

В 1838 г. Морзе придумал свою знаменитую азбуку, в которой все буквы обозначались набором точек и тире: с тех пор и возник знаменитый сигнал SOS (от английского — «Спасите наши души!») — призыв на помощь — три точки, три тире, три точки. В 1844 г. Морзе завершил постройку первой телеграфной линии между Вашингтоном и Балтимором и вернулся к живописи.

Сразу же возникла идея грандиозного для того времени предприятия — прокладка трансатлантического телеграфного кабеля. Первый такой кабель (более 5 тыс. км под водой!) был проложен в 1857 г. Его

Телеграф быстро распространялся по миру, и уже в 1849 г. была сделана первая попытка проложить подводную линию между Францией и Англией, но поскольку еще не умели создавать качественную изоляцию, то линия вышла из строя через несколько часов. Этот урок не прошел даром — уже через два года на дно пролива легли провода, изолированные так, что линия проработала без замены более 50 лет.

прокладка сопровождалась множеством проблем: кабель рвался и пропадал из вида, его искали драгами на дне, находили, сращивали, снова теряли — это были новости номер один в тогдашних газетах. Но когда все было закончено, оказалось, что телеграф практически не работает — любой сигнал так ослабевал и растягивался во времени, что

последовательные сигналы накладывались друг на друга — пропускная способность канала связи оказывалась ничтожной... Впридачу он вскоре вообще порвался, а найти концы не удалось.

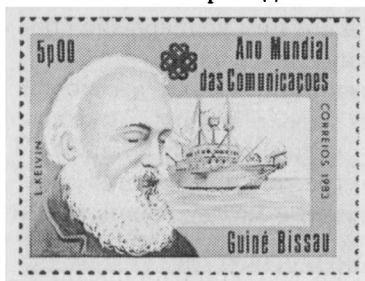
И тут произошло событие, серьезно отразившееся на всей истории науки и техники: инженерам-практикам пришлось, волей-неволей, обратиться за помощью к ученым.

Надо подчеркнуть, что до того фундаментальная наука и техника практически не соприкасались: ученые изучали некие явления, а изобретатели что-то придумывали, и им хватало тех общих сведений, которые можно было почерпнуть из школьных учебников, популярных книжек и газетных статей. (Пожалуй, единственным исключением — и то очень специфичным — была артиллерия при таком образованном человеке как Наполеон Бонапарт.) Ну а тут менеджерам телеграфного ведомства пришлось обратиться к Уильяму Томсону, будущему лорду Кельвину.

Томсон разработал к тому времени теорию распространения сигналов по длинным проводам (выведенное им выражение называется уравнением телеграфистов) и показал, как и какие сопротивления, емкости и индуктивности (они определяются, в основном, свойствами и особенностями изоляции) должны быть расположены на линии, чтобы сигнал проходил по ней с наименьшими потерями.

При прокладке новой линии Томсон все время был на судне в роли техника, работа прошла успешно, и в 1866 г. Америка и Европа соединились телеграфной линией.

Более ста лет телеграф служил основным средством связи во всем мире, но к концу XX в. он почти полностью утратил свое значение: связь через спутники, оптоволоконные линии и, наконец, Интернет работает несравненно быстрее и дешевле.

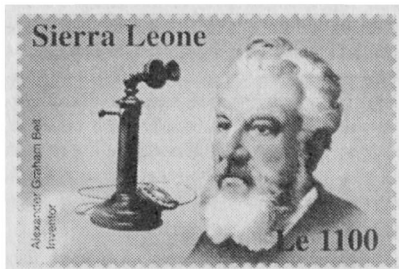


5. Телефон

Будь этот Белл специалистом, он никогда не придумал бы такой нелепый прибор.

Т. Эдисон, 1876

Поиск возможностей передачи звука по проводам предпринимались с начала XIX в. многими изобретателями. Первая работающая конструкция была разработана в 1861 г. Иоганном Филиппом Рейсом (1834—1874), который придумал и само слово «телефон». Его микрофон представлял собой металлическую полосу, которая колебалась под давлением звуковых волн и при этом замыкала с их частотой электрическую цепь, передающую сигнал. Возникающий в цепи ток шел к телефону, а он состоял из катушки, в которую могла втягиваться и затем отпускаться игла сердечника, дергающая с такой же частотой звучащую мембрану. Таким образом, телефон Рейса мог передавать лишь один тон, одну частоту из всего спектра, составляющего речь.



И тут нужно перейти к драматичной истории соперничества двух американских изобретателей: Элиши Грея (1835—1901) и Александра Грэхема Белла (1847—1922). 14 февраля 1876, в тот же самый день, когда Белл подал патентную заявку на изобретенный им телефон⁶, в Бюро патентов пришел со своей заявкой Грей — он опоздал на несколько часов в соревновании изобретателей, продолжавшемся уже десятилетия.

Первый телефон, построенный Греем, состоял из комбинации нескольких устройств Рейса: несколько язычков, каждый со своей катушкой, могли колебаться с заданными частотами — так что его телефон мог передавать одновременно несколько частот и тем самым несколько смягчать однотонность сигнала. Но позднее Грей понял,

⁶ Патент Белла (USA #174,465) гласил, что автор создал «метод и прибор для передачи речи или других звуков по телеграфу... вызывая электрические колебания, подобные по форме колебаниям воздуха при произнесении речи или других звуков» — этот патент принес своему владельцу наибольший доход за всю историю патентования в мире. Такие патенты называют зонтичными, они перекрывают, как зонтик, все возможности их оспорить, и хотя телефон в момент его создания расценивался многими как своеобразная игрушка, свидетельство на его изобретение до сих пор наиболее часто цитируется в патентных судебных разбирательствах.

что одна единственная круглая мембрана может совершать несколько разных колебаний.

Белл в своем патенте, надо сказать, использовал микрофон и телефон, ранее предложенные и публично показанные, но по-отдельности, и не запатентованные Греем — поэтому такое их использование

Первый телефонный аппарат для общего пользования появился в 1882 г. В нем были две отдельные трубки: приемная и передающая, — а также маленькое магнето с ручкой, накручивая которую генерировали электрический сигнал вызова. Звонили на телефонную станцию, на которой «телефонные барышни» соединяли абонентов (работа эта считалась престижной, набирали туда по конкурсу образованных и незамужних девиц).

Автоматический набор телефонного кода был изобретен в 1896 г. (каждая цифра соответствует такому же количеству коротких сигналов), в 1927 г. телефон и микрофон были объединены в столь привычную сейчас одну трубку, но современный телефонный аппарат с дисковым набором становится стандартным только в 1937 г., с 1963 г. выпускаются аппараты с кнопочным набором номера.

юридически вполне законно. Отметим, что Грей был, в основном, ученым, вскоре он становится профессором электродинамики, а Белл стал очень богатым и успешным бизнесменом, но продолжал и изобретательскую деятельность. (Основанные им «Лаборатории Белл» являются и сейчас известным научным учреждением и эффективной фирмой. Много внимания Белл уделял проблемам образования, фактически именно он основал знаменитый журнал *National Geographic*.)

Интерес Белла к телефонии был изначально вызван тем, что его отец разработал ранее программу для обу-

чения глухих, сын успешно продолжил эти занятия и детально изучал фонологию, т. е. способы произнесения и различения отдельных звуков. Когда он начал опыты по электрической передаче звука, то родители двух его глухих учеников стали его финансировать.

В построенном телефоне упругая железная мембрана толщиной 0,2–0,3 мм, которая могла прогибаться, приближалась под давлением звука к катушке с магнитным сердечником или отходила от него. При таких изменениях положения мембраны менялось магнитное поле всего магнита (его силовые линии проходили и через мембрану), а изменение магнитного потока влечет, согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, появление переменного тока. Ток, переданный в такую же катушку, менял ее магнитное поле, и оно притягивало или отпускало приемную мембрану с той же частотой. Слабость возникающего тока и потери в линии, конечно, затрудняли воспроизведение речи, поэтому в цепь включалась еще и батарея — ток через цепь тек постоянно, а звуковые колебания только меняли (модулировали) его силу.

Таким образом, одна и та же трубка могла использоваться как передатчик и как приемник звука. Но слабость звучания требовала новых конструкций: было изобретено много микрофонов разных типов.

Большинство изобретателей шло стандартным путем: изменяли форму магнита или мембраны, — но это вело лишь к небольшому усилению тока в цепи. Между тем здесь можно было использовать и другие физические эффекты: 1) если в конденсаторе одна из плат гибкая, то под давлением звуковой волны она будет прогибаться и, следовательно, будет меняться емкость конденсатора (на этом принципе был построен конденсаторный микрофон); 2) можно использовать устройства, которые меняют свое сопротивление под действием давления; 3) улучшить ранние конструкции можно расположением второй катушки непосредственно на мембране (так строятся динамические микрофоны). Можно, в принципе, использовать и открытое позже явление пьезоэлектричества и т. д.

Великий изобретатель Т. А. Эдисон выбрал, конечно, нестандартный путь, и его конструкция (1878) используется уже более ста лет. Микрофон Эдисона состоит из коробочки с тонким сухим угольным порошком, закрытой сверху гибкой мембраной. Электрическое сопротивление порошка сильно меняется с давлением на мембрану, а потому меняется и проходящий через нее ток, приемник же звука, все время включенный в цепь, может оставаться при этом без изменений.

6. Томас Эдисон

Томас Алва Эдисон (1847—1931) ходил в школу лишь несколько месяцев. Сначала он торговал овощами вразнос, продавал газеты, всячески пытаясь заработать, затем начал выпускать газету для пассажиров — на ходу, прямо в поезде дальнего следования. В 12 лет он влюбился в химию и в подвале своего дома устроил лабораторию. А затем выучился на телеграфиста и, уже навсегда, занялся электричеством.

В 1869 г. он изобрел биржевой телеграфный аппарат, и хотя он был не лучше других моделей, Эдисон занялся производством таких устройств. Несколько позже он открывает мастерскую, которую можно было бы назвать «Изобретения по заказу» — она послужила образцом для многих современных исследовательских учреждений. При этом он получает множество патентов на изобретения, связанные с телеграфом. Наиболее значительными из них были мультиплексные системы, позволяющие одновременно передавать несколько телеграмм по одному и тому же проводу: при



Эдисона как будто очень интересовала возможность продавать свои изобретения, но в автобиографии читаем: «Я был плохим фабрикантом, потому что не мог оставить в покое ни одной вещи, даже если она была и так достаточно хороша. Что бы ни попадало в мои руки — машинка для взбивания яиц или электромотор, — я, прежде всего, думал о том, как это усовершенствовать. Стоит только мне кончить работу над каким-нибудь аппаратом, как я уже стремился снова разобрать его, чтобы еще что-нибудь переделать. Такая мания дорого обходится фабриканту! <...> Единственное мое стремление — работать, не думая о расходах. То есть если мне хочется занять целый месяц и весь свой штат выяснением, почему одна угольная нить накаливания работает чуточку лучше другой, то я желаю работать, не беспокоясь о том, сколько это будет стоить. Мысль о затратах раздражает меня. Мне не нужны обычные утехы богатей. Мне не нужно ни лошадей, ни яхт, на все это у меня нет времени. Мне нужна мастерская!»

Однако дуговые лампы были слишком мощны для жилых помещений. Было ясно, что нужен свет накаливаемого электричеством тела, но как накалять его так, чтобы оно не сгорало?

Дело в том, что в дуге угли традиционно располагали наклонно друг к другу, а в процессе их сгорания дуга растягивалась и гасла. Для их сближения было изобретено множество сложных устройств. Но вот как-то Павел Николаевич Яблочков (1847–1894), все время думавший над этой проблемой, сидел в ресторане и в ожидании официанта машинально переключал с места на место нож и вилку. Он выложил их строго параллельно и тут внезапно сообразил — это же решение! Угли надо ставить не под углом, а параллельно, а между ними, чтобы не плавилась, проложить какое-то вещество, выгорающее вместе с электродами — поэтому и сближать их по мере сгорания не придется. Свеча Яблочкова (два параллельных угольных стержня с гипсом между ними) долго освещала площади больших городов мира.

валяет стоимость материалов, которые потребуются для изготовления ламп, проведения линий и добычи электроэнергии с помощью динамо-машин, вращаемых паровыми машинами. Анализ этих цифр определил не только размеры лампы, но и ее будущую цену.

этом Эдисон вступает в соперничество с самим А. Г. Беллом и выигрывает — в 1875 г. его система позволяет передавать по одной линии одновременно восемь разных сообщений.

Самой насущной проблемой в то время была проблема электрического освещения (освещение газовыми рожками было не слишком гигиенично и опасно). Если посмотреть книги по электротехнике того времени, они описывают десятки, если не сотни различных устройств освещения с помощью вольтовой дуги. Но только к 1875 г. была изобретена наконец дуговая лампа, практически пригодная для наружного освещения и для больших помещений — это электрическая «свеча» Яблочкова.

Ясно, что нужно поместить такое тело в вакуум, точнее, изолировать его от доступа кислорода. Но нужен не только светильник: если он предназначен для жилищ, то ведь нужно доставить туда электричество. Эдисон не сомневается, что сам светящийся прибор он сможет изобрести, но работу начинает в 1878 г. с того, что во второй половине XIX в. назвали «теорией исследования операций»: разрабатывает на бумаге план центральной электростанции и схему радиальных линий к домам и фабрикам, подсчитывает

После колоссального числа опытов Эдисон решает, что нить накаливания должна быть помещена в вакуумированную колбу, а изготавливать нить лучше всего из угля. Первые нити накаливания он пытается сделать из обычных швейных ниток, покрытых углем — они выдерживали до сорока часов работы. Эдисон пробует все вещества, содержащие углерод: от продуктов питания и смол до обугленного волоса из бороды своего рыжего ассистента — шесть тысяч разновидностей растительных волокон. Лучшими оказались волокна бамбука, из которого делались футляры японских пальмовых вееров. Однако цена такой лампочки в массовом производстве становилась много больше запланированных 40 центов. Но другого выхода он пока не видел.

31 декабря 1879 г. Эдисон привез на специально заказанных поездах три тысячи человек — показать им чудо: сотни электрических лампочек, которые горели в его мастерской и на окрестных дорогах, а энергия подводилась к ним от центральной динамо-машины по подземным проводам. (Всеобщая уверенность в гении Эдисона, в его возможностях была такова, что еще до регистрации патента слухи об изобретении вызвали резкое падение акций газовых компаний, занимавшихся освещением.)

Создание разветвленной электрической сети потребовало изобретения множества составляющих ее элементов: штепселей, вилок, проводов, переключателей, патронов для ламп, абажуров и т. д. При этом, конечно, не обходилось без накладок.

Любопытно и очень характерно, что газовые компании вовсе не хотели сдаваться и пытались запретить электрическое освещение. В Англии дело дошло до суда, и в марте 1879 г. парламент учредил комиссию для разбора дела об освещении. Суд проходил по всем канонам британской юриспруденции: свидетели защиты (У. Томсон, В. Сименс и др.) и свидетели обвинения давали показания относительно свойств электрического освещения, члены комиссии во главе с профессором химии Л. Плейфером занимали судейские места. Доводы свидетелей обвинения были таковы: по мнению художников электрический свет

Существует легенда о такой курьезной ситуации. Для учета расхода энергии нужно было придумать счетчик. Первый счетчик Эдисона был электролитический: у входа сети в дом помещалась ванночка с двумя электродами и раствором медного купороса. Инкассатор при проверке вынимал катод, взвешивал его и определял количество прошедшей электрической энергии. Некий догадливый клиент поменял перед приходом контролера катод и анод — получилось, что компания Эдисона не поставляла ему энергию, а наоборот — получала от него. Дело пошло в суд, судья, говорят, долго раздумывал, но в итоге постановил: клиент прав — в договоре сказано, что электроды взвешивают, и это условие не нарушено! Пришлось изобретать динамический счетчик, но и сейчас находятся умельцы, заставляющие его крутиться временами в обратную сторону.

Эдисон считал своим долгом оставить стране изобретателя, который сможет его заменить. С этой целью во всех штатах были проведены конкурсы среди школьников, заключительный тур он провел сам. Победителю была оставлена в наследство лаборатория Эдисона и некоторый капитал для начала работы — безо всяких условий. Однако наследник не смог существенно себя проявить. Гениальный изобретатель плохо разбирался в психологии: когда в разгар конкурсов его посетил Эйнштейн, то Эдисон попросил его ответить на вопросы анкеты. И Эйнштейн не смог заполнить вопросник: «Знаете ли вы скорость звука в воздухе и в металле? — А зачем это запоминать — ведь есть же справочники!»

«холоден и представляет мало экспрессии»; несколько леди находили, что он придает «какую-то мертвенность физиономии и, кроме того, затрудняет выбор одежды, так как освещенные электрическим светом костюмы кажутся иными, чем при вечернем освещении»; торговцы с рынка пожаловались на то, что «электрический свет придает дурной вид рыбе и просили снять устроенное у них освещение»; многие жаловались на резь в глазах, мигания света.

Свидетели защиты разъясняли, что надо смотреть не на фонари, а на освещенные предметы, что «смотреть прямо на Солнце еще больнее, но никто не ставит это в вину солнечному свету» и т. д. Комиссия постановила, что электрический свет вышел из области опытов и ему надо дать возможность конкурировать с газовым освещением.

Вскоре усовершенствования производства привели к тому, что цена на лампочки постепенно падала, и когда она дошла до 22 центов, Эдисон продал свою компанию. Нужно сказать, что эта продажа была своевременной: все патенты Эдисона относились только и только к устройствам постоянного тока — в переменный ток он почему-то не верил, и поэтому созданная им городская электрическая сеть Нью-Йорка состояла из отдельных небольших электростанций — передача электроэнергии на большие расстояния при низком напряжении в сети, соответствующем потребительскому, ведет к очень большим потерям, переменный ток здесь много выгодней.

В течение жизни Эдисона Бюро патентов в США выдало ему 1093 патента — такого количества никогда не получал ни один человек. Из его изобретений нужно отметить еще кинетоскоп (1891) — аппарат для демонстрации последовательных фотографий движения, но об этом поговорим позже.

7. Никола Тесла

Гениальный изобретатель, но при этом человек с очень сложным характером, Никола Тесла (1856–1943) родился в Хорватии, получил образование в Граце и в Праге, а в 1884 г. приехал в Нью-Йорк с четырьмя центами в кармане, несколькими поэмами на сербском языке

и... с проектами генераторов, моторов и различных устройств переменного тока.

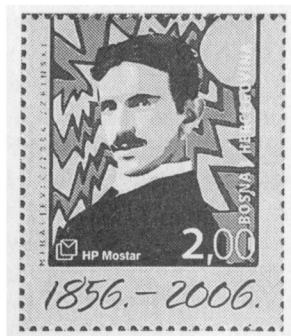
Работать он начал в лаборатории Эдисона, но две такие яркие индивидуальности ужиться не могли: у обоих блестящая техническая интуиция, но талант Эдисона более заземлен — сказывается отсутствие систематического образования, а Тесла видит перспективы новых идей, в частности, он понимает теорию Максвелла и для него естественен переход к переменным токам. Тесла переходит работать к Вестингаузу, изобретателю и крупному промышленнику, которому продал (фактически подарил) свои права на системы переменного тока.

Системы переменного тока гораздо экономичнее систем постоянного тока, поскольку передачу на большие расстояния можно осуществлять током высокого напряжения, а затем трансформировать его в ток любого напряжения, нужного пользователю. Поэтому громадным коммерческим успехом пользовалась электростанция, построенная по проекту Тесла на Ниагарском водопаде: фактически он выиграл тут заочное соревнование с Эдисоном, фанатичным приверженцем постоянного тока.

Тесла принадлежат и огромные заслуги в создании многофазных генераторов и моторов со много

большими коэффициентами полезного действия, он также установил, что один из проводов можно заменить заземлением.

Тесла создал эффективный генератор высоких частот. Экспериментируя с ним, он показал возможность беспроводной передачи таких частот и пытался создать на этой основе оружие — лучи смерти, как бы передающие импульс энергии по ионизованному следу разряда (такие идеи с тех пор время от времени снова всплывают, но до сих пор не получили реального воплощения). С помощью своих передатчиков Тесла построил, впервые, модель парохода, дистанционно управляемого с берега (1898), т. е. фактически, на современном языке, радиуправляемого, — таким образом, он может считаться одним



Когда в 1915 г. прошел слух, что предполагается разделить Нобелевскую премию между ним и Эдисоном, Тесла запротестовал, он заявлял, что не позволит уравнивать себя, ученого, с изобретателем-самоучкой. По той или иной причине, но премия не была им присуждена. Тесла был совершенно непрактичен в финансовых вопросах, простил Вестингаузу громадный долг и, по видимому, умер от голода в гостинице, потеряв в связи с войной пенсию Югославии и не успев начать получать пенсию США. При этом Тесла отнюдь не был лишен странностей: он много раз объявлял, что с ним вступают в контакт инопланетяне, что он получал от них сообщения и т. д.

из основателей радиотехники. Именем Теслы названа единица магнитной индукции.

Тесла получил более 700 патентов на свои изобретения: электромоторы, выпрямители, электрогенераторы, трансформаторы, флюоресцентные лампы, высокочастотное оборудование, системы освещения и многое другое. Нужно также отметить, что, хотя Маркони и получил первый патент в области радиотехники, но многие другие его заявки на патенты были отклонены, потому что Тесла успел его опередить.

8. Когерер

В 1890 г. французский физик Эдуард Бранли (1844–1940) изобрел когерер — это стеклянная трубочка, в которую насыпаны железные опилки, и которая включается в электрическую цепь. Ток через нее не проходит, так как опилки не очень плотно соприкасаются друг с другом, но если неподалеку от нее проскочит электрическая искра, то магнитное поле, всегда при этом возникающее, чуть-чуть намагнитит опилки, они плотнее сцепятся и ток начнет проходить.

С таким прибором начал экспериментировать английский физик Оливер Лодж (1851–1940). Когерер исправно включался при проскоке искры, затем, когда его встряхивали, выключался, так как опилки отсоединялись друг от друга. Но однажды когерер забастовал: его встряхивают, а он самопроизвольно включается. Лодж и так, и этак его переставлял и пересоединял, ничего не помогало, пока за окном не начался летний ливень. И тут его осенило: перед дождем были удары молнии, электрические разряды, а значит и магнитные поля. Следовательно, когерер исправен, просто он чувствует молнии, даже довольно далекие — так был построен и пущен в продажу «грозоотметчик Лоджа»⁷. (Я читал некогда инструкцию по его использованию. В ней говорилось, что прибор подсоединяют к звонку, который указывает на приближение грозового фронта. Прибор следует повесить повыше, чтобы не достали дети, а как только он зазвонит, нужно послать камердинера с палкой, чтобы он ею осторожно постучал по трубочке, прекратил звон и приготовил тем когерер к новому включению.)

⁷ Остается добавить, что Лодж, очень опытный физик, упустил эпохальное открытие — радио, к которому он был ближе всех. Возможно, именно это так на него повлияло, что он поверил в спиритизм, в вызывание духов умерших, стал ставить бесконечные опыты, в том числе с помощью когерера. Эта сторона его и Крукса деятельности отражена в пьесе Л. Н. Толстого «Плоды просвещения».

9. Изобретение радио

Сейчас кажется совершенно непонятным как физики, прочитав в 1886 г. об опытах Г. Герца с передачей электромагнитных волн на расстоянии, сразу же не подумали о возможностях их использования в технике, не сообразили начать построение «беспроволочного телеграфа». Остается лишь констатировать, что и ученым свойственна инерция мышления — случаи применения достижений науки в технике были еще очень редки⁸.

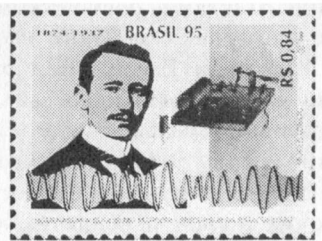
Но со временем смысл открытия Герца все же стал восприниматься «широкими научными массами», в разных местах повторяли его опыты и улучшали аппаратуру. И появление идеи, что волны Герца

можно использовать в качестве носителя сообщений, было неизбежным. Большое экономическое значение, которое уже получили как телеграф, так и телефон, заставляли надеяться, что беспроводная передача сообщений могла бы быть очень выгодной. Открытие, если можно так говорить, витало в воздухе.

Фактически примерно одновременно этим вопросом занялись А. С. Попов, Г. Маркони, Э. Резерфорд (он бросил работу без публикаций) и Н. Тесла (сосредоточился на дистанционном управлении). Вопросы приоритета Попова или Маркони долго разбирались на всех уровнях: есть веские доводы в пользу обоих.

Александр Степанович Попов (1859—1906) уже в 1888 г. повторил опыты Герца и начал работать по усовершенствованию аппаратуры, а в 1894 г. сконструировал более мощный генератор этих волн и существенно улучшил когерер, увеличив его чувствительность. Важнейшим его изобретением явилась антенна, позволившая улавливать

Изобретатели, как правило, плохо знали физику. Первыми, кто применил научные методы и расчеты в ходе изобретений, были Сакс, изобретатель музыкальных инструментов, Рудольф Дизель, изобретатель двигателя, и Гюстав Эйфель — строитель гигантских сооружений.



⁸ Мы уже отмечали, что телеграфистам пришлось обратиться к помощи лорда Кельвина.

отдаленные сигналы молний — фактически грозоотметчик, снабженный антенной, уже являлся радиоприемником (показан 7 мая 1895 г., в июле того же года установлен в метеорологической обсерватории). А 24 марта 1896 г. он продемонстрировал свои опыты перед физическим отделением Российского физико-химического общества Санкт-Петербурга, передав с помощью азбуки Морзе внутри здания университета, на расстояние в 250 м телеграмму из двух слов: «Генрих Герц».

В 1905 г. А. С. Попов стал первым избранным ректором Петербургского электротехнического института, но вскоре же после ожесточенного спора в полицейском участке (его студенты были арестованы за участие в демонстрации) скончался от сердечного приступа.

Однако Попов не стал продолжать изыскания в этом направлении и перешел было к исследованиям рентгеновских лучей. Но в сентябре 1896 г. он узнал из газет, что Маркони получил патент, и снова

вернулся к волнам Герца. В сотрудничестве с российскими военноморскими силами ему удалось передать сигнал на 10 км, а через год — на 50 км. При этом он обнаружил, что когда линию приемник—передатчик пересекал корабль, то сигнал пропадал — это явление отражения волн от разных поверхностей потом легло в основу радиолокации.

Гульельмо Маркони (1874—1937, Нобелевская премия 1909, совместно с Ф. Брауном, изобретателем электронно-лучевой трубки) в 1894 г. прочитал об опыте Герца, и ему сразу же пришла мысль использовать эти волны для передачи сигналов по воздуху без проводов. Следующие 40 лет своей жизни он посвятил беспроволочной телеграфии, добиваясь все большей эффективности и дальности передачи.

Проконсультировавшись с известным физиком Аугусто Риги (1850—1921), Маркони воспользовался вибратором Герца и когерером Бранли. К середине 1895 г. он создал более чувствительный и надежный когерер: включил телеграфный ключ в цепь передатчика, заземлил вибратор и присоединил один из его концов к металлической пластине, расположенной высоко над землей. В результате этих усовершенствований ему удалось передать сигнал на расстояние в 1,5 мили. В мае 1897 г. он передал сигналы через Бристольский залив на расстояние в 9 миль и обнаружил, что дальность передачи пропорциональна числу и длине используемых антенн (вскоре он строит группу антенн и доводит их высоту до 50 м).

В 1900 г., опираясь на открытия Фердинанда Брауна, Маркони включил в свой передатчик конденсатор и катушку настройки, что позволило увеличить энергию сигнала. Конденсатор усиливал эффект колебаний, создаваемых искровым разрядником, а катушки позволили добиться совпадения периода колебаний в антенне с периодом

усиленных колебаний. Эти две цепи отныне можно было настраивать так, чтобы колебания в них происходили согласованно и тем самым сводили до минимума затухание сигнала. Тогда же Маркони усовершенствовал и прием сигнала, включив в приемник катушку настройки, в результате чего от принимаемого сигнала когеренру передаются только колебания, настроенные на колебания передатчика и исключается прием сигналов, передаваемых всеми остальными антеннами.

В 1896 г. Маркони подает в Англии первую патентную заявку на изобретение в области радиотелеграфии. Патент № 7777, выданный в апреле 1900 г., по существу, закреплял за Маркони монополию на использование настроенных друг на друга передатчиков и приемников.

Маркони до конца жизни продолжал работу над усовершенствованием радиотехники. Помимо того, во время первой Мировой войны он выполнял ряд военных миссий и в конце концов стал командующим итальянским военно-морским флотом. В 1919 г. он от имени Итальянского королевства подписывает ряд Версальских мирных договоров и удостоивается титула маркиза.

К концу 1900 г. Маркони удается увеличить дальность передачи сигналов до 150 миль. В конце 1901 г. на острове Нью-Фаундленд он принял сигнал, переданный через Атлантический океан из Корнуолла (Великобритания). Сигнал преодолел расстояние в 2100 миль и в 1905 г. Маркони взял патент на направленную передачу сигналов. В 1907 г. Маркони открыл первую трансатлантическую службу беспроводной связи, а в 1912 г. получил патент на усовершенствованную, регулируемую во времени, искровую систему для генерирования передаваемых волн.

Но искровые передатчики уже исчерпали на этом свои возможности.

10. Ионосфера

Идея бескабельной передачи электрических сигналов через Атлантический океан весьма забавна. Неужели этот господин Маркони не понимает, что его сигналы просто исчезнут в атмосфере?

К. Тэйлор, 1900

Успехи Маркони, передача радиосигналов через Атлантический океан в 1901 г., вызвали волнение среди физиков: электромагнитные волны должны распространяться по прямой линии и следовательно не могут изгибаться так, чтобы следовать за шарообразностью Земли. Что же тогда ловили приемники Маркони?

Оливер Хевисайд был известным специалистом по расчетам электромагнитных явлений — отличался очень сложным характером, он проводил исследования у себя дома, свои результаты публиковал довольно путанно, потом собрал их в пяти томах своих «Электромагнитных исследований». Для них он придумал собственные математические методы, так называемое операционное исчисление, которое было признано математиками только через много лет, а некоторые его достижения бывали переоткрыты позже другими учеными. (Классик теории электромагнетизма, Хевисайд до конца жизни отказывался пользоваться какими-либо достижениями электричества, включая телефон и даже освещение.)

В 1902 г., почти одновременно, разгадку предложили английский физик и математик Оливер Хевисайд (1850—1925) и американский инженер-электрик Артур Эдвин Кеннелли (1861—1939): по их гипотезе в атмосфере, под действием ультрафиолетового излучения Солнца, должен образовываться ионизированный слой воздуха. Такой слой обладает электрической проводимостью и может отражать радиоволны определенной длины, поэтому радиоволны могут распространяться

как бы по ломаной линии: доходить до слоя, отражаться от него, как от зеркала (или загигаться около него), идти к поверхности земли, снова отражаться от нее и т. д.

Таким образом, верхний слой атмосферы может быть назван ионосферой.

Гипотеза эта была доказана непосредственными опытами в 1924 г., когда Эпплтоу (1892—1965, Нобелевская премия 1947) удалось послать короткий радиоимпульс вертикально вверх, получить его отражение и измерить время между излучением и возвращением импульса. С тех пор этот слой называется слоем Хевисайда (иногда Хевисайда—Кеннелли).

Структура ионизированных слоев оказалась сложнее, чем представлялось в начале. Ионосфера простирается на высотах приблизительно от 50 до 400 км над поверхностью Земли и подразделяется на три слоя, обозначаемые буквами D, E и F. Слой D находится на высоте примерно 80 км и существует, и то не всегда, только в течение дневного времени — в отсутствие солнечного излучения ионы и свободные электроны в нем быстро рекомбинируют, проводимость и отражательная способность исчезают.

Слой E (слой Эпплтона) на высоте примерно 110 км сохраняет способность к отражению радиоволн в течение четырех-пяти часов после захода Солнца. Наибольшую роль в распространении радиоволн играет слой F: его мощность достаточна для отражения более высоких частот. В течение дня он часто расчленяется на два слоя (F1 и F2) на высотах примерно в 200 и 400 км, а ночью превращается в один слой на высоте около 300 км. Состояние всех этих слоев, степень их ионизованности, зависит от излучения Солнца и поэтому может меняться с наступлением солнечных бурь и т. п.

А в 1958 г. Джеймс Альфред Ван Аллен (1914–2006) по данным, полученным с первых спутников Земли, установил, что выше этого Ф-слоя находятся области, в которых под действием земного магнитного поля скапливаются заряженные частицы, в основном протоны, т. е. ядра атомов водорода, испускаемые Солнцем. Центр первого пояса Ван Аллена находится на высоте примерно 3 тыс. км, второго — на высотах от 15 до 20 тыс. км. Но так как эти слои могут иногда опускаться значительно ниже, их приходится учитывать при запуске спутников и ракет.

11. Диод и триод

В 1883 г., в тот период, когда Эдисон занимался угольными нитями накаливания, он заметил такую странность: угольный налет испарения нити покрывал всю постепенно темнеющую внутреннюю поверхность лампы, кроме полоски в том месте, где крепилась нить, т. е. на стекле появлялась как бы «тень» (точнее, негатив тени) подставки.

Эдисон не мог объяснить происхождение «тени». Он поместил маленькую металлическую пластинку между двумя ножками подпорки нити так, что к ней можно было попеременно подключать конец нити накаливания с большим или меньшим потенциалом. И тут обнаружилось, что если пластинку присоединяли к положительному полюсу, через нее шел ток, а при присоединении к отрицательному полюсу этого не происходило.

Эдисон оформил патент на такое устройство, но больше им не занимался.

Исследованием эффекта Эдисона или термоэлектронной эмиссии занялся английский физик Джон Амброуз Флеминг (1881–1960). Он обнаружил в 1904 г., что ток между раскаленной нитью (катодом) и вставленным в лампу вторым, холодным электродом (анодом) протекает только в одном направлении — заряженные частицы, электроны, испускаются катодом и летят к аноду. Таким образом, эта лампа, названная диодом, может служить выпрямителем или вентилем: при подаче на нее переменного тока она пропускает только половину тока — ту, направление которой совпадает с направлением тока в лампе. Флеминг, в частности, заметил, что такое устройство может использоваться при приеме радиосигналов: они передавались уже в то время на высокой частоте и поэтому не могли улавливаться, скажем, телефоном — мембрана не могла колебаться с такой частотой.

Физику явления подробно исследовал Оуэн Уилланс Ричардсон (1879–1959): оказалось, что нагретая платиновая проволока излучает

Усилители Ли де Форреста очень быстро начали применяться в музыкальной технике, было создано множество новых инструментов на этой основе. Одним из самых оригинальных был терминвокс Леона Термена (1920): музыкант, к которому присоединялся один полюс батареи, водил руками перед большим экраном, к которому был присоединен второй полюс, таким образом, руки музыканта и экран образовывали заряженные конденсаторы, а движения рук меняли расстояния между «обкладками», т. е. емкость устройства, и через него начинал течь ток. Этот ток усиливался и звучал в динамиках.

электроны, это термоэлектронная эмиссия, явление схожее с излучением атомов нагретой жидкостью (Нобелевская премия 1928).

Но дальнейшее развитие вакуумной техники связано с именем Ли де Форреста (1873–1961), которого недаром окрестили «отцом радио и дедушкой телевидения». В 1907 г. он помещает в лампу Эдисона третий электрод (сетку) расположенный между накаленной нитью

(катодом), испускающей электроны, и анодом, их поглощающим. Это был по настоящему революционный шаг: небольшой электрический потенциал, наложенный на сетку, мог увеличивать или уменьшать поток электронов между двумя другими элементами и таким образом дал возможность триоду действовать как усилитель — впервые возник прибор, который позволял плавно, с помощью слабого тока, изменять величину сильного тока.

Именно это открытие привело к практическому применению радио для передачи сигналов, более сложных, чем точки и тире.

В дальнейшем начали изготавливать радиолампы и с большим количеством сеток, так что, например, если в лампе было две сетки, то можно было складывать или вычитать их напряжения — на таких лампах были построены первые электронно-вычислительные машины, ЭВМ (1947).

Запись изображения, звука и информации

1. Фотография

Для того чтобы лучше понять ход изобретения фотографии, начнем с описания простейшего из таких процессов. Снимаемая картина отражается, в уменьшенном или, наоборот, увеличенном виде на светочувствительный слой — пленку с определенными химическими соединениями. На этом слое в процессе проявления засвеченные участки темнеют, а незасвеченные остаются светлыми; теперь следует погрузить пленку, пластинку или отпечаток в закрепитель, смывающий не прореагировавшее вещество, промыть и высушить: негатив готов и с него можно печатать, на таком же слое, позитив.

Итак, в процессе фотографирования участвуют, по крайней мере, два химических процесса: потемнение с засветкой чего-то в светочувствительном слое и его закрепление. Основой этих процессов является, в наиболее распространенном варианте, такое свойство солей серебра (хлористых, бромистых или йодистых): под действием света молекула соли распадается на ионы, а ионы серебра объединяются в проявителе в кристаллики — кристаллы серебра черного цвета (этот цвет особенно хорошо заметен на серебряных изделиях с чернеными, т. е. мелко-кристаллическими узорами). Роль закрепителя состоит в вымывании непрореагировавших молекул, а также ионов хлора.

Теперь можно перейти к истории этих изобретений.

Предшественником фотокамеры была камера-обскура, которой пользовался еще Леонардо да Винчи. После того как в конце XVI в. Джамбатиста дела Порта вставил в отверстие камеры линзу, она стала уже настоящим рабочим инструментом для зарисовок эскизов. Но можно ли закреплять появляющееся на ней изображение?

Принципиальная возможность этого появилась еще в 1727 г., когда профессор анатомии Иоганн Генрих Шульце доказал, что известное уже потемнение солей серебра вызывается не теплотой, а светом. Он даже показывал такой опыт: на серебряную поверхность накладывались вырезанные буквы, пластина выставлялась на солнечный свет

и через некоторое время на ней ясно пропечатывались, светлым, эти буквы — он получал негатив изображения. Однако, ни ему и никому другому не пришла в голову мысль о возможности сохранить такое изображение или тем более совместить это явление с камерой-обскурой.

Первая фотография была снята литографом и изобретателем Ж. Н. Ньепсом (1765—1833). Перепробовав много занятий (в их числе было и изобретение первого в истории двигателя внутреннего сгорания), Ньепс занялся литографией, т. е. рисованием на специальном, так называемом типографском камне, с которого потом можно было снимать отпечатки. Рисовал на камне его сын, но когда того призвали в армию, Ньепс остался без рисовальщика; сам он рисовать не умел и стал искать всяческие способы облегчить сей процесс. Он долго экспериментировал со светочувствительными составами — покрывал ими камень и пытался переносить на него гравюры солнечным светом (такой способ снятия копий позже был назван гелиографией).

В 1816 г. Ньепс попробовал запечатлеть таким способом на бумаге, пропитанной хлористым серебром, вид из своего окна, но сохранить полученное изображение не смог. Затем начались опыты со смолами (асфальтами), в которые он вносил хлористое серебро. В 1826—1827 гг., используя камеру-обскуру, Ньепс снял, все же, на пластину из оловосвинцового сплава вид из окна и сумел закрепить изображение — это и была первая в мире фотография (ему понадобилась выдержка в восемь часов и поэтому Солнце на снимке оказалось снятым дважды, на обоих краях снимка). Второй фотоснимок он сделал с какой-то гравюры и тем самым добился, в принципе, своей цели — изобрел первый фотомеханический процесс воспроизводства.

Ньепс пытался получить патент на свой способ воспроизводства, но так как при этом он не хотел раскрывать суть изобретения, то патент ему выдан не был. Он понимал, что нужно как-то уменьшить длительность выдержки и упростить весь процесс, и в 1829 г. решил объединить усилия с театральным художником Л. Ж. М. Дагерром. Дагерр профессионально пользовался камерой-обскурой для рисования эскизов декораций и к тому же разбирался в химии красителей, он еще до того пытался найти способы закрепить изображения камеры-обскуры.

Получив материалы Ньепса, он начал экспериментировать с посеребрёнными медными пластинами и в 1835 г. случайно обнаружил, что скрытые изображения, возникающие в слое хлористого серебра, проявляются под действием паров ртути. Еще два года потребовались для отработки методики съёмки, и в 1837 г. был провозглашен метод дагерротипии — изготовление фотографий на металлических

пластинах. Длительность экспозиции при этом составляла всего около 30 минут: людей усаживали и закрепляли неподвижно с помощью целой системы рычагов, которые еще надо было как-то скрывать, но сохранившиеся дагерротипы до сих пор поражают четкостью и прорисовкой деталей. Однако при дагерротипии проявлялось сразу же позитивное изображение, поэтому его нельзя было фотографически тиражировать.

Другой тип фотографии с разрывом в несколько дней предложил У. Г. Ф. Тальбот (1800–1877), химик, лингвист и археолог. Он разработал съемку на бумагу с негативом и последующим печатанием позитивов, т. е. с возможностью тиражирования снимков. Его метод (тальботипия) требовал меньшей выдержки, но уступал в четкости дагерротипии.

Заметим, что практически одновременно с Тальботом схожий способ разработал известный астроном Джон Гершель (1792–1871), сын великого Уильяма Гершеля. Хороший химик, он еще ранее установил действие гипосульфита на соли серебра, т. е. разобрался в химии процесса, а фотографировать предложил на стеклянные пластинки (именно он ввел термины «негатив» и «позитив»).

Следующим шагом в фотографии должны были стать попытки создать объемные изображения. Мы видим предмет объемным потому, что изображения в правый и левый глаз попадают под несколько отличными углами (бинокулярное, т. е. «двуглазное» зрение). Поэтому и фотографии для стереоскопического просмотра должны быть различными: либо нужно смотреть в два разных окуляра, настроенных на разные снимки, либо смотреть через очки с разными цветными фильтрами на снимок (киноэкран), на котором даются одновременно изображения для левого и правого глаза в разных цветах. Однако такие системы громоздки, хотя сейчас используются в так называемых 3D-телевизорах. Полностью проблемы создания объемных изображений могут быть, в принципе, разрешены только в голографии.

2. Запись звука

Первые звукозаписывающие устройства были чисто механическими, но поскольку их изобретение шло параллельно с электрическими исследованиями, опишем их здесь.

В это изобретение вмешался случай: гениальный изобретатель Томас Алва Эдисон жил на атлантическом побережье США, а его невеста — на тихоокеанском. Письма и телеграммы его не удовлетворяли, ему хотелось говорить с ней. Вот световые волны можно

запечатлеть на бумаге, сделать фотографию и переслать ее, а звуковые волны? И тут ему пришло в голову, что если по какой-то щели раз за разом проводить острием или иглой, то звук при одной и той же скорости будет одинаковым. А как его записать? Ну конечно на воске, он же самый мягкий и с него начинают все скульпторы.

И тут Эдисон сразу соображает: он делает валик, покрытый воском, вырезает на нем равномерную спираль, так что когда валик крутится ручкой, то по спирали скользит иголка с мембраной. Если при этом говорить, то звуковые волны заставляют колебаться мембрану, а она — иглу, которая царапает воск, так что при повторном кручении валика с той же скоростью игла колеблется по царапинам, и мембрана тихо, но равномерно звучит, повторяя запись.

Идея фонографа, устройства, записывающего, сохраняющего и воспроизводящего речь и музыку, была совершенно новой. Эксперты Патентного бюро, как полагается, пытались разыскать прецедент (по латыни, «предыдущий», на него полагается ссылаться в тексте патента), но не нашли ничего даже отдаленно напоминающего это изобретение, хотя отдельные узлы, входящие в конструкцию, не являлись новинкой — такой, весьма редкий патент называют пионерским.

Когда аппарат был готов, Эдисон установил его и громко крикнул в рожок: «У Мэри был барашек». Затем он что-то переключил в аппарате, и машина скрежещущим голосом выкрикнула те же слова: ассистенты опешили от изумления.

Остальное — дело техники, и через месяц Эдисон пересылает невесте первый в мире фонограф вместе

со своими валиками. (Насколько я знаю, это единственный пример великого изобретения, сделанного во имя любви!)

Главные недостатки фонографов Эдисона состояли в хрупкости его валиков и невозможности их тиражирования. Они были устранены в 1887 г. Эмилем Берлинером (1851—1929), придумавшим плоский диск с нанесенной спиралью, в которой и записывались горизонтальные колебания иглы, присоединенной к раструбу, игравшему роль микрофона — в него говорили, пели или играли. Он же изобрел метод тиражирования таких пластинок: по первой записи делался негатив из легкоплавкого металла, на котором затем отливались копии — первая машина для такого копирования была названа «Грамофоном» (греческое «грамма» — запись) и очень долго все пластинки именовались грамофонными⁹. (Позже вместе с сыном Берлинер сконструировал первый вертолет.)

К 1915 г. стандартной стала запись дисков на скорости 78 оборотов в минуту с продолжительностью игры в четыре с половиной

⁹ Мой дед привез в Одессу в конце XIX в. первый, вероятно, грамофон из Америки: на улице собирались толпы — просили поставить его на подоконник открытого окна и завести, люди крестились и пытались обнаружить кто за ним прячется.

минуты на каждую сторону¹⁰. В начале 1920-х гг. были разработаны электрические громкоговорители для усиления звука. В 1948 г. фирма «Колумбия» начала выпуск «долгоиграющих» пластинок со скоростью вращения 33,3 оборота в минуту и со временем звучания до 30 минут на каждой стороне, а затем и стереофонических систем с двумя независимыми записями, создающими эффект объемности звучания (1958). Эти усовершенствования стали возможными, в основном, благодаря использованию для записи и воспроизведения пьезоэлектрических кристаллов (чаще всего, титаната бария) — звуковой сигнал преобразовывался в микрофоне в электрический ток и подавался через усилитель на такой же кристалл, который преобразовывал изменения тока в колебания иглы, выдавливающей углубления в стенках канавок. При воспроизведении звука игла, наоборот, давила с переменной силой на такой же кристалл, а создаваемый в нем ток мог усиливаться и идти на динамик.

Однако с 1980-х гг. такие воспроизводящие системы начали в значительной степени вытесняться магнитофонными кассетами и компакт-дисками, а затем и оптическими (цифровой компакт-диск) системами.

С 1920 г. Ли де Форрест начинает разрабатывать звуковую аппаратуру для кинематографа. Наиболее практичной оказалась оптическая запись — прозрачная дорожка переменной ширины на краю киноленты, которая просвечивалась специальной лампочкой и «считывалась» фотоэлементом, ток которого шел в усилитель звука.

Звук для кинофильма может регистрироваться также на магнитной ленте или магнитной пленке и печататься вместе с пленкой или отдельно от нее. Принципиально более простой является лазерная запись звука или любой иной цифровой информации. Эта техника стала возможной после разработки (и удешевления!) полупроводниковых лазеров, дающих очень узкий и при этом достаточно мощный луч света. Запись производится на диске со спиральной канавкой, в которой лазер выжигает углубления: каждое углубление это «один», его отсутствие — это «ноль». Таким образом, любая информация записывается в двоичном коде и так же воспроизводится. (Заметим отличие от записи на грампластинке: там царапины шли в бок и были различны по длине и толщине, а здесь — в глубину и все одинаковы, что уже само по себе увеличивает емкость записи.)

¹⁰ Длинные записи (например, оперы) приходилось продолжать на серии таких пластинок. Рекорд, вероятно, побил запись речи И. В. Сталина на XVII съезде ВКП(б) в 1934 г.: она была выпущена в виде громадного альбома пластинок, в котором, в точном соответствии с обстановкой произнесения речи, первые две и последние четыре пластинки содержали только звуки бурных аплодисментов, перешедших в овацию.

3. Кинематограф

Существование кинематографа связано с особенностью нашего зрительного восприятия: глаз запоминает изображение примерно на $1/15$ долю секунды (инерция зрения). Поэтому если показывать неподвижные картинки, сменяемые чаще и с небольшими изменениями на последовательных картинках, то возникнет впечатление движения объекта.

В современном киноаппарате лента в проекторе неподвижна и ее изображение проецируется на экран, затем выход проектора закрывается, лента скачком передвигается на следующий кадр, останавливается и выходное отверстие открывается. Таким образом, на экран за секунду проецируется 24 кадра; в эпоху немого кино, до 30-х гг. XX в., стандартом был показ 16 кадров в секунду, и поэтому при их пуске с современной скоростью возникает впечатление подпрыгивающей походки людей и т. п. (даже сейчас примерно 2% людей все же иногда видят темные промежутки между кадрами, раньше их было много больше).

С этой особенностью нашего зрения и восприятия связана знаменитая история «25-кадра». Рассказывают, что в 1950-х гг. некий продюсер, у которого фильм оказался чуть короче стандарта, вставил после каждого 24-го кадра пустой, черный кадр. Зрители ничего особенного не замечали, но в одном из кинотеатров механики решили пошутить и выцарапали на таких кадрах нехорошее слово — его ведь нельзя прочесть за $1/25$ долю секунды. Но после начала сеанса весь зал почувствовал страшную вонь. Фильм остановили — вонь исчезла!

В историю эту вмешались физиологи и психологи: оказалось, что хотя сознательно на экране ничего не прочитывается, но смысл надписи улавливается подсознательно и поэтому трудно или даже невозможно не воспринимать ее смысл как собственное ощущение. Но ведь это означает, что с помощью 25-го кадра зрителей можно убедить почти во всем, что угодно: покупать определенные товары, голосовать за нужную партию. Перспективы эти настолько опасны, что такие эксперименты строжайше запрещены, хотя с их помощью можно, например, облегчить изучение языков.

Но теперь вернемся к тому, как все это открывалось и изобреталось.

Использование эффекта инерции зрения можно отсчитывать с 1830-х гг. Тогда начали строить аппараты, в которых серия последовательных чуть изменяемых рисунков закладывалась в круглый барабан с прорезями напротив каждого рисунка: когда барабан вращался, то перед зрителем последовательно открывались отверстия, и он видел одну картинку на противоположной стороне барабана, видел ее как бы движущейся. Аппарат этот получил гордое название «Зоэтроп»

(от греческого «зоэ» — жизнь) и успешно кочевал по ярмаркам всей Европы. С открытием и усовершенствованием фотографии облегчилось и производство таких «лент» последовательных снимков, но снимать приходилось серией фотоаппаратов — каждый делал по одному снимку.

Следующий большой прорыв в предыстории кино связан с... лошадьми. Ярый любитель лошадей Леланд Стэнфорд, губернатор Калифорнии, решил доказать на спор, что лошадь во время галопа отрывает от земли на какое-то время все четыре копыта. Для этого он нанял известного фотографа Эдварда Майбриджа: момент отрыва всех ног был слишком короток для того, чтобы успеть заметить его глазом. Майбридж работал над этой проблемой с 1872 по 1877 г., когда он наконец расположил вдоль беговой дорожки 12 фотокамер с выдержкой менее одной сотой секунды, включаемых ударами копыт лошади по клавишам, встроенным в дорожку.

В итоге губернатор выиграл пари, Майбридж сделал из этих снимков «фильм» для Зоотропа, который он позже несколько усовершенствовал, даже проецируя кадры этого и чуть более длинных «фильмов» в 24 кадра на экран. Позднее французский физиолог Марей использовал такой же метод для изучения особенностей полета птиц.

В 1887 г. священник Ганнибал Гудвин решил печатать такие последовательности снимков не по одиночке, а на целлулоидной ленте, производство которой со следующего уже года освоил известный промышленник и изобретатель Джордж Истмен (1854—1932, он основал фирму «Кодак» и придумал само это слово, которого нет ни в одном языке).

Теперь нужен был человек, который сумел бы объединить аппараты Майбриджа и Марей с фотоленкой Иствуда.

Именно эту задачу Эдисон поручил в 1888 г. своему сотруднику У. К. Л. Диксону. Вместе они быстро сконструировали устройство, которое обеспечило точную синхронизацию движения пленки (ее край был перфорирован) и устройства, закрывающего и открывающего отверстие объектива. В нем прокручивалась по кругу пленка длиной до 50 футов (около 18 м) со скоростью 40 кадров в секунду, и в 1891 г. Диксон и Эдисон подали патентную заявку на кинетограф. А скоро эти аппараты поступили в коммерческую продажу, устанавливались они в фойе гостиниц и даже в специальных помещениях: зритель мог, прильнув к окуляру, смотреть фильм, продолжавшийся несколько секунд и затем повторявшийся. А его изобретатели начали работать над присоединением к нему фонографа Эдисона...



Выставка кинетоскопов Эдисона в Париже вдохновила Огюста и Луи Люмьеров на создание кинематографа (от греческих слов «движение» и «писать»): они понизили частоту показа с 40 до 16 кадров в секунду, заменили кольцевой показ ленты на линейный (поэтому их фильмы могли иметь любую длину), изобрели легкий и удобный проектор (у

Эдисона просмотр был только индивидуальный, аппарат весил около полутонны, у Люмьеров — менее 10 кг), что позволило проецировать изображения на экран, и 28 декабря 1895 г. братья Люмьер провели первый коммерческий показ в зале на бульваре Капуцинов в Париже.

Приоритет в изобретении кино стал предметом судебного разбирательства. В решении Верховного суда США от 1902 г. сказано, что Эдисон не изобрел кинофильм, а только объединил открытия других. Но все эти перипетии, как и дальнейшие улучшения в области кинематографии, выходят за рамки нашего изложения.

4. Голография

Самая большая беда для науки — превратиться в моду.

Стефан Цвейг

В следующие полвека после работ Ньепса, Дагерра и Тальбота было разработано множество технических усовершенствований аппаратуры и процесса фотографирования.

Но принципиально новый способ фотографирования был предложен и осуществлен только в 1891 г. Габриэлем Липпманом (1845—1921, Нобелевская премия 1908). Липпман долго искал свою научную нишу: еще до Пьера Кюри он отметил проявления пьезоэлектричества, а до Каммерлинга-Оннеса — некоторые особенности сверхпроводимости, но потом переключился на оптику. До его исследований все использовали лишь энергию, несомую светом, что фактически соответствовало картине распространения света как потока фотонов, каждый из которых мог произвести химическую реакцию. Липпман же опирался на волновые представления: позади светочувствительного слоя он помещал зеркало, и тогда на пленку попадали две системы лучей:

прямая от объекта и отраженная от зеркала. Эти две системы интерферировали и пленка запечатлевала их интерференционную картину.

Если при экспозиции зеркало оставалось на том же месте, то освещающие лучи так же интерферировали и воссоздавали в цвете исходную картину. Метод Липпмана дал первую цветную фотографию на *обычном* фотоматериале, идеальную по точности, но недостатком его метода была длительность экспозиции и невозможность тиражирования.

Новый подход к этой технике был предложен Деннисом Габором (1900—1979, Нобелевская премия 1971), физиком и изобретателем — ему принадлежит более 100 патентов. Габор занимался электронной микроскопией и в 1948 г. предложил для улучшения разрешения снимков такой метод: наряду с отраженной от объекта световой волной на фотопленку посылался от источника световой поток точно той же частоты (когерентный) — это опорная волна (она заменяла зеркало Липпмана). Две волны интерферировали, и на пленке записывалась интерференционная картина, которая могла воспроизводиться затем при освещении подходящим световым потоком в направлении опорной волны.

Фактически это означало, что на пленке достаточной толщины записывалось несколько слоев, они и служили интерференционным зеркалом, поэтому — с учетом замены реального зеркала интерференционное — этот метод повторял систему Липпмана.

Однако в то время отсутствовали достаточно мощные источники света и Габор не смог получить качественные голограммы¹¹. Но в 1961—1962 гг. после появления мощных лазеров Э. Лейт и Ю. Упатниекс возродили метод Габора, получили первые объемные изображения, и голография начала бурно развиваться.

Интересно отметить, что в отличие от фотографии в голограмме нет точного соответствия между точками снимаемого объекта и точками изображения — картина формируется светом, отраженным от всей голограммы; поэтому если разбить голограмму на части (не слишком маленькие), то каждая такая часть дает при воспроизведении полную картину, только несколько более затуманенную. Хорошо выполненная голограмма может создать полную иллюзию наблюдаемого реального предмета — ее можно рассматривать с разных сторон (но при повороте наблюдателя она поворачивается на вдвое больший угол), т. е. в правый и левый глаза попадают несколько отличающиеся кар-

¹¹ Голограмма от греческих слов «голо» — все и «грамма» — записывать. Ранее это же слово употреблялось для обозначения документа, целиком написанного рукой одного человека.

тинки, и поэтому голограмма дает стереоскопическое изображение. Высокое качество голограмм позволяет экспонировать их в музеях, заменяя подлинные раритеты — известны даже случаи, когда недостаточно грамотные грабителе разбивали голограммы, надеясь похитить запечатленные на них ценности. Делается немало попыток создать голографические кинофильмы, но пока они успехом не увенчались.

Сейчас существует много различных схем получения голографических изображений, оказалось, в частности, что можно получать голограммы не только световые, но и акустические — эти волны ведь тоже могут интерферировать (голограммы сейсмических волн могут позволить, например, воссоздавать глубинные слои Земли).

5. Магнитные свойства веществ

Еще один способ записи и хранения информации обусловлен магнитными свойствами веществ, но для его объяснения нам нужно рассказать кое-что о магнетизме.

Мы знаем, что если в теле могут возникать электрические токи, то при внесении этого тела в магнитное поле они должны, согласно закону Ленца, переориентироваться или возникать в таком направлении, чтобы противодействовать основному магнитному полю. А поскольку во всех веществах существуют внутренние токи (хотя бы внутриатомные или внутримолекулярные движения электронов), то почти все они, за редким исключением тех, у кого эти токи взаимно компенсируются (например, висмут, газ гелий), должны проявлять диамагнитные свойства, т. е. противодействовать изменению внешнего поля.

Но если частицы тела уже обладают магнитными моментами, то при поднесении к магниту они поворачиваются, и если этот момент больше их индуцированного диамагнитного момента, то они начинают к магниту притягиваться — такие тела называются парамагнетиками (например, алюминий, воздух; термины происходят от греческих «диа-» и «пара-» — «через» и «вдоль»).

Для описания магнитных свойств веществ вводится специальная величина — магнитная восприимчивость: она показывает во сколько раз суммарное магнитное поле в среде больше, чем поле в вакууме, поэтому для диамагнетиков она меньше единицы (суммарное поле уменьшается), а для парамагнетиков — больше единицы.

Поскольку типы и особенности связей между атомами и молекулами в среде зависят от температуры и других параметров, а осуществляются связи, в основном, обмен электронами, т. е. токами, свойства которых тоже меняются, то и магнитные свойства среды могут меняться — по разному в разных веществах — с температурой, дав-

лением и т. д. Первую теорию диа- и парамагнетизма построил Поль Ланжевен (1872—1946) на основе электронной теории Лорентца, затем были исследованы отклонения от общей теории и построены теории частных видов магнетизма (парамагнетизм Ван Флека, парамагнетизм Паули, диамагнетизм Ландау и т. д.), в которые мы не будем вдаваться.

Наиболее интересным представляется частный вид парамагнетизма, который называется ферромагнетизмом: для таких веществ, как железо, кобальт, никель, гадолиний и некоторых соединений, магнитная проницаемость, а с ней и усиление магнитного поля может достигать многих тысяч.

Почему внешнее поле в них так усиливается?

Ответ нашел Пьер Эрнест Вейсс (1865—1940). Он предположил, что в ферромагнетиках существуют участки (домены, или области, Вейсса, 1907), которые уже полностью, до предела намагничены. Точнее скажем так: железо и подобные материалы являются в обычном состоянии поликристаллами, т. е. состоят из отдельных кристаллитов, кристалликов, а вот эти кристаллиты, если они малы, так строят свою решетку, что в их узлах все атомы повернуты только в одну сторону, и все их магнитные моменты складываются. Однако, если нагреть железо выше какой-то температуры (точка Кюри—Вейсса), то этот порядок в кристаллитах нарушится и вещество станет обычным парамагнетиком.

Отметим, что такое изменение свойств называется фазовым переходом второго рода — при нем скачком меняется порядок внутри вещества, т. е. его энтропия. При фазовом переходе первого рода — например, при замерзании или конденсации — скачком меняются такие параметры как удельная теплоемкость, теплопроводность и т. п.

Теория доменов Вейсса сразу же смогла объяснить разницу между чистым железом (легко намагничивается и столь же легко размагничивается), сталью (трудно намагнить, но намагничение может надолго сохраняться) и чугуном (парамагнетик). Различия в их структурах обусловлены содержанием углерода: 1—2% в стали и больше в чугуне.

В этих сплавах зерна углерода играют как бы роль стопоров: в стали они мешают доменам развернуться в сторону поля, но после разворота удерживают их в этом положении. В чугуне домены не могут преодолеть их сопротивление и поэтому он не намагничивается.

6. Магнитная память, феррогидродинамика

Запоминающая магнитная память основана на том, что можно по разному ориентировать крохотные магнитные домены (в таких накопителях их часто называют почему-то магнитными пузырьками). Размер

доменов можно, в принципе, довести до нескольких миллионных долей миллиметра, и каждый такой домен может быть ориентирован вверх или вниз, что будет означать «один» или «ноль». Поскольку каждую, например, букву можно обозначить цифровым кодом из нулей и единиц, то для записи любого из $256 = 2^8$ разных знаков требуется не более 8 доменов, т. е. ее запись займет в длину порядка одной стотысячной доли миллиметра. Поэтому плотность записи на магнитных доменах очень велика, к тому же она может стираться, значит, информацию на таких носителях можно перезаписывать. (У магнитной записи есть, конечно, и свои недостатки: ее легко стереть магнитом, она может стереться при повышении температуры и даже «стареть», поскольку не исключены аналоги броуновского движения — колебания доменов).

Записывающее устройство состоит при этом из головки с сильным управляющим электромагнитом, размеры самой головки и ее

Первая попытка создания магнитной системы записи звука датируется 1890 г, когда датский инженер Валдемар Поулсен изобрел устройство намагничивания отдельных частиц на стальной проволоке; были даже выпущены диктофоны, записывавшие разговор на проволоку, но качество воспроизводимого звука в такой записи было очень низким.

К 1920-м гг. были разработаны магнитные ленты — это полимерные пленки, в которые помещены ферромагнитные частицы, в простейшем случае, окислов железа (микроскопические кристаллики ржавчины). Однако сложности создания головок малого размера оттянули выпуск магнитофонов до конца Второй мировой войны.

поля должны в идеале соответствовать размерам одиночного домена, чтобы только его сориентировать в нужном направлении. Считывающая головка должна быть тех же размеров: каждый домен, проходящий через нее, индуцирует в ней ток и восстанавливает тем самым ток в момент записи.

Домены внутри ферромагнетика могут расти и уменьшаться — эти процессы описываются как движения доменных стенок. Их раз-

меры определяются минимумом магнитной энергии тела при данной температуре и других факторах.

Если тело очень мало, то в нем может поместиться только один домен, т. е. такие частицы намагничены до предела. Для окислов железа размер однодоменных частиц составляет примерно 15 нм (нм, т. е. нанометр — это одна миллиардная часть метра), для никеля — 7 нм и т. д.

И нужно заметить, что запись на таких доменах может быть более емкой, чем, скажем, на лазерных дисках: выжигаемые светом углубления в дисках не могут быть меньше длины волны света, т. е. они в десятки или даже сотни раз больше размеров домена. Поэтому у магнитной памяти есть еще большие перспективы в соревнованиях с дисками.

Интересно, что такие частицы можно поместить в жидкость, где они, ввиду своих малых размеров, будут плавать, не опускаясь на дно (частицы можно покрыть водоотталкивающим слоем), а из-за случайной ориентации магнитных моментов частиц жидкость не обладает общим магнитным моментом. Исследования проблем, связанных с такими жидкостями (их течение в присутствии магнитного поля и т. д.), иногда выделяют в отдельное направление — феррогидродинамику. Если, например, сосуд с такой жидкостью поместить в магнитное поле, то все кристаллы повернутся, жестко сцепятся друг с другом и жидкость затвердеет. Снятие поля сразу же снова обращает ее в жидкость.

Такие свойства магнитных жидкостей предопределяют многообразие их применений для различных креплений: в стакан с жидкостью помещается, скажем, основание инструмента под нужным углом и включается магнитное поле — устройство надежно фиксировано. Мешочек с такой жидкостью кладется на рану и при поднесении с противоположной стороны тела магнита герметично ее закрывает.

С помощью магнитных жидкостей можно попытаться решить и самую большую проблему современной медицины — транспорт лекарств. Дело в том, что если, скажем, к какому-нибудь протоку печени нужно доставить 1 мг лекарственного препарата, то больному приходится, при безоперационном методе лечения, скармливать несколько грамм, т. е. в тысячи раз больше лекарства, распределяющегося по всему организму, а это может быть совсем не безвредно. Именно поэтому не удается применять и слишком сильные препараты — они вредны для других органов, куда неизбежно попадут.

Поэтому разрабатываются такие методы: к магнитной частице привязывается — биологи это умеют — капсула или пустая клетка («липосома») с препаратом, а затем с помощью магнита, под рентгеновским наблюдением, этот «поезд» проводится по кровеносным или лимфатическим сосудам в нужную точку (автору доводилось участвовать в этих разработках).

Рейтинги замечательных экспериментов и великих физиков

*Чем дальше эксперимент от теории,
тем он ближе к Нобелевской премии.*

Фольклор

Поскольку на протяжении книги мы упоминали множество имен, описывали много разных теорий и экспериментов, приведем, только для ориентации, рейтинги известнейших экспериментов и знаменитых физиков. Так, известный английский журнал «Физикс Уорлд» провел в 2002 г. опрос среди ученых: какой физический эксперимент за всю историю нашей науки можно считать наиболее красивым?

Рейтинг, по результатам голосования, таков (в скобках год проведения):

1. Эксперимент по интерференции одиночных электронов на двух щелях (год не указан, так как он одновременно был проведен несколькими группами; этот эксперимент, схожий с опытом Юнга, окончательно доказал волновую природу электрона).
2. Эксперимент Галилея с падающими телами (1600-е гг.).
3. Эксперимент Милликена с заряженными каплями (1910-е гг.).
4. Разложение солнечного света в спектр Ньютоном (1665–1666).
5. Эксперимент Юнга по интерференции света (1801).
6. Определение Кавендишем гравитационной постоянной (1798).
7. Измерение радиуса Земли Эратосфеном (III в. до н. э.).
8. Опыты Галилея с шарами на наклонной плоскости (1600-е гг.).
9. Открытие атомного ядра Резерфордом (1911).
10. Маятник Фуко (1851).

В ответах фигурировали и такие эксперименты:

- эксперимент Архимеда по гидростатике,
- определение скорости света Ремером,
- определение механического эквивалента теплоты Джоулем,

- опыты Рейнольдса по течению жидкости в трубах,
- опыт Маха по акустическим ударным волнам,
- опыт Майкельсона—Морли,
- определение максвелловского тока смещения Рентгеном,
- открытие магнитного действия тока Эрстедом,
- опыты Бреггов по дифракции в кристаллах,
- измерение сдвига изображения звезд Эддингтоном и т. д.

Практически все эти эксперименты мы описали¹², а сам рейтинг показывает, что в понятие красоты у физиков входят неожиданность результата и... простота самого опыта. Этот рейтинг можно, в общем, признать справедливым.

Более сложно распределить «по рангам» самых ученых. Такой опрос по рейтингу физиков всех времен был проведен тем же журналом в 1999 г. (каждому из выбранных 120 «судей» — действующих ученых — позволялось назвать до пяти имен). В списке после занятого места указано число отданных голосов:

1. (119) Альберт Эйнштейн (1879–1955).
2. (96) Исаак Ньютон (1642–1727).
3. (67) Джеймс Кларк Максвелл (1831–1879).
4. (47) Нильс Бор (1885–1962).
5. (30) Вернер Гейзенберг (1901–1976).
6. (27) Галилео Галилей (1564–1642).
7. (23) Ричард Фейнман (1918–1988).
- 8–9. (22) Поль Дирак (1902–1984) и Эрвин Шредингер (1887–1961).
10. (20) Эрнест Резерфорд (1871–1937).
- 11–13. (16) Людвиг Больцман (1844–1906), Макс Планк (1858–1947), Майкл Фарадей (1791–1867).
14. (13) Энрико Ферми (1901–1954).
15. (6) Мария Кюри (1867–1934).
- 16–17. (4) Джон Бардин (1908–1991), Л. Д. Ландау (1908–1968).
- 18–20. (3) Джон Белл (1928–1990), Ганс Бете (1906–2003), Дж. У. Гиббс (1839–1903).

¹² Более подробные описания большинства этих экспериментов даны в книге: Липсон Г. Великие эксперименты в физике. М.: Мир, 1972; основные эксперименты в квантовой области описаны в книге: Тригг Дж. Решающие эксперименты в современной физике. М.: Мир, 1974.

По два голоса были отданы Архимеду, Копернику, Пьеру Кюри, Дж. т-Хофту, Э. Хабблу, И. Кеплеру, В. Паули, У. Шокли, Дж. Дж. Томсону, Ч. Таунсу, Х. Юкаве, и еще больший список включает имена, упомянутые лишь по одному разу.

Опрос этот показывает только безусловность первых трех-четырёх мест: разница между последующими слишком мала и субъективно окрашена. Но при этом, несомненно, достижения всех названных ученых (как и многих, сюда не вошедших) достойны самого глубокого почтения.

О роли физики и великих физиков в развитии человечества могут говорить результаты широкого (несколько тысяч респондентов) опроса, проведенного в середине XX в. среди преподавателей университетов США и Англии. Нужно было назвать человека, оказавшего наибольшее влияние на интеллектуальное и духовное развитие мира в эпоху после Леонардо и отметить его основную заслугу (в скобках). Опрос показал, что в резко выделяющуюся лидирующую группу вошли восемь имен: У. Шекспир (впервые показана многоплановость личности), У. Блейк (единство словесного и живописного изображения), Н. Коперник (развенчал представления об уникальности Земли), И. Кеплер (показал возможность математического описания явлений природы), Г. Галилей (эксперимент как основа науки), Х. Гюйгенс (введения индукции как метода рассуждения и доказательства), М. Планк (введение дискретности, прерывности в науку), А. Эйнштейн (обновление понятий времени и пространства, эволюция Вселенной): шестеро из восьми — физики.

В последующей группе были уже не только физики: наряду с И. Ньютоном и Н. Бором туда вошли Ч. Дарвин, З. Фрейд, И. Кант, Ф. Достоевский, К. Маркс, Бетховен и др. К таким опросам нельзя относиться чересчур серьезно: в других странах или в иное время они дали бы несколько отличные результаты, но общая тенденция, можно думать, должна была бы сохраниться. (Из нашей прошлой истории можно вспомнить бурную полемику вокруг стихотворения Бориса Слуцкого «Физики и лирики» и фильма М. Ромма «Девять дней одного года» в конце 50-х — начале 60-х гг. XX в.)

Некоторые обозначения

1. В ядерной физике и в космогонии приходится пользоваться очень большими цифрами и выписывать их названия становится затруднительным. Ну как, скажем, назвать цифру с 26 нулями? Поэтому принято использовать сокращенную запись в виде степени числа:

$$1 \text{ тысяча} = 1\,000 \rightarrow 10^3$$

$$1 \text{ миллион} = 1\,000\,000 \rightarrow 10^6$$

$$1 \text{ миллиард (или биллион)} = 1\,000 \text{ миллионов} \rightarrow 10^9 \text{ и т. д.}$$

Аналогичные правила позволяют записывать малые доли чисел:

$$1 \text{ тысячная часть} = 1:1\,000 \rightarrow 10^{-3}$$

$$1 \text{ миллионная часть} = 1:1\,000\,000 \rightarrow 10^{-6}$$

$$1 \text{ миллиардная часть} \rightarrow 10^{-9} \text{ и т. д.}$$

2. Единицей работы и энергии в международной системе единиц является джоуль. Однако, это слишком большая величина при рассмотрении, скажем, энергии одного электрона. Поэтому энергию в атомной физике принято измерять в электронвольтах, эВ: это энергия, приобретаемая электроном, прошедшим разность потенциалов в один вольт (в сокращенной записи единиц первая буква фамилии пишется большой). Величина эВ очень мала в сравнении с используемыми в обыденной жизни, одному джоулю соответствует $6,25 \cdot 10^{18}$ эВ. Для ионизации атома, т. е для освобождения электрона, нужна энергия в несколько эВ. Но в ядерных процессах энергии намного большие, они измеряются в тысячах, миллионах, миллиардах, триллионах эВ. Таким образом определяются:

$$1 \text{ КэВ} = 10^3 \text{ эВ}, 1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}, 1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}, 1 \text{ ТэВ} = 10^{12} \text{ эВ.}$$

3. Согласно формуле Эйнштейна $E = mc^2$, каждой величине массы сопоставляют энергию. И оказывается, что гораздо удобнее измерять массу частиц именно в терминах энергии — при этом отпадает необходимость в выписывании длинных цифр. Ниже, для справок, значения массы электрона и протона приведены в обычных и в энергетических величинах.

4. В обыденной жизни температуру измеряют в градусах, но, поскольку температура — это мера средней кинетической энергии, ее

можно измерять в единицах энергии. Для этого нужно умножить температуру в градусах на $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянную Больцмана. При этом энергия в 1 эВ соответствует температуре 11 400 °С.

5. Приведем для справок примерные значения некоторых физических величин:

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — число Авогадро, т. е. число молекул в одном моле, в массе вещества, равной его молекулярному весу в граммах;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в пустоте;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ кулон — величина заряда электрона;

$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка;

$\alpha = e^2/c = 1/137$ — постоянная тонкой структуры;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ г $\sim 0,51$ МэВ — масса электрона;

$m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г $\sim 0,938$ ГэВ — масса протона;

$G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ см³/г · с² — гравитационная постоянная;

1 световой год (св. год) $\sim 10^{13}$ км,

1 парсек (пк) ~ 3 св. год, 1 Мпс = 10^6 пс $\sim 3 \cdot 10^{19}$ км.

Заключение

Мы начали книгу со слов великого детектива Шерлока Холмса: *«Я не раз говорил вам, что когда вы удалите невозможное, то все, что останется, должно быть правдой — как бы оно ни казалось невероятным»*. Именно они должны быть признаны символом веры, и именно это мы старались показать на протяжении всей книги, которую вы прочли или просмотрели.

Сопоставления детективного расследования и научного исследования — вполне естественны: и тут, и там вы видите и следы, которые могут открыть истину, и множество ложных направлений поиска, в которых так легко запутаться. Но, как любил повторять Эйнштейн, «Бог не играет в кости» — природа управляется не случайностями, а законами, которые нужно открыть и понять, и она сама подсказывает направление поиска, которое люди не всегда сразу же замечают. Вспомним, что до Г. Х. Эрстеда, В. Рентгена, К. Андерсона, Б. Джоузефсона многие квалифицированные ученые видели, но не обратили внимания на те, казалось бы, очевидные особенности, которые привели к открытиям.

Итак, нужно внимательно смотреть по сторонам, не бояться фантазии, не доверять полностью чужим мнениям, но и не впадать в грех полного неверия, изучать критически то, что уже достигнуто, пытаться создать полную, но *свою* картину окружающей действительности, той науки, которая вас интересует.

«Наука вовсе не является коллекцией законов, собранием несвязанных фактов, — пишут Эйнштейн и Инфельд в своей книге. — Она является созданием человеческого разума с его свободно изобретенными идеями и понятиями. Физические теории стремятся образовать картину реальности и установить ее связь с обширным миром чувственных восприятий».

Ждут ли нас новые открытия, и если да, то где? Я старался не затушевывать имеющиеся трудности, неясности в развитых, казалось бы, теориях — во всех них можно и должно искать новые явления. Помимо того, все время возникают новые направления научного поиска — и они открываются порой на давно как будто заезженных дорогах.

Так, топографы вдруг обнаружили, что они не могут назвать длину береговой линии Англии: ведь с увеличением масштаба карт прояв-

ляются новые подробности этой линии и растет ее длина, которую измеряют линейкой по карте, — на каком же масштабе нужно остановиться? Эта проблема не является, конечно, практически важной, но вот другая, математически того же класса: многие химические процессы резко ускоряются на поверхности катализатора, например платины, и при этом можно создать не гладкую поверхность, а причудливо «корявую», но как измерить ее площадь? Для всего этого пришлось развивать так называемую фрактальную геометрию (мы упоминали о ней в связи с теорией фазовых переходов К. Вильсона) — береговая линия Англии не имеет, как обычная линия, размерность 1, а некоторую промежуточную между 1 и 2 (размерности длины и площади), размерность площади катализатора — промежуточная между 2 и 3, т. е. между размерностями площади и объема, и т. д.

Во время обсуждения в Сенате США весьма дорогостоящего проекта нового ускорителя кто-то из сенаторов задал замечательному теоретику Дж. Швингеру такой вопрос: «Когда же вы, наконец, построите эту вашу теорию элементарных частиц?». Швингер ответил примерно так: «Не знаю, но вполне возможно, что именно сейчас, где-нибудь в сельских районах Огайо или Миннесоты, растет мальчишка, в голове которого формируются нужные для этого новые идеи. Подождем его, а пока будем работать и надеяться, что новый ускоритель и наша работа ускорят его приход».

В 1963 г. метеоролог Эдвард Лоренц положил начало новому направлению не только в физике атмосферы, но во всем естествознании — исследованию хаоса в детерминированных системах. Он просчитал на компьютере, как казалось, простейшую задачу, решение системы трех уравнений, и совершил замечательное открытие — увидел множе-

ство явлений, для которых невозможен долгосрочный прогноз: малейшая — и неизбежная! — неточность в начальных данных ведет к абсолютно различным последующим мирам. Много раньше об этом писал М. Борн, но не сумел превратить такую идею в новое направление. Есть известный рассказ Рэя Брэдбери о путешественнике в прошлое, который нечаянно раздавил там бабочку и вернулся в совершенно иной мир — закономерности, открытые Э. Лоренцем, иногда именуют «эффектом бабочки». Это новое научное направление (его называют нелинейной динамикой, иногда синергетикой) можно назвать теорией хаоса, а применимо оно не только к физике, но и к поведению финансовых рынков, к анализу кардиограмм, к деятельности антиглобалистов и террористов и т. д. и т. п., но для изложения этих идей нужно писать новую книгу¹³.

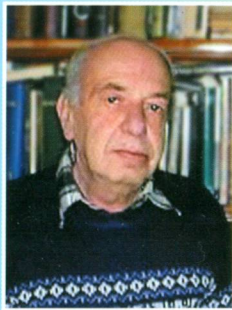
¹³ И конечно, в такой книге следовало бы подробно рассказать о теории катастроф — новой, как будто, области математики, многие результаты и методы которой были предвосхищены физиками: в теории спонтанного нарушения симметрии, теории фазовых переходов, в оптике и т. д. Пока можно лишь сослаться на небольшую популярную

И еще одно, главное: Макс Планк пишет в автобиографии, что новые теории побеждают не потому, что кого-то удастся переубедить, а потому, что старые ученые уходят, а молодые, только вступающие в науку, привыкают к новым воззрениям.

Науки вообще, и физика в частности, меняются с каждым поколением, и они ждут эти новые поколения, задачу которых сформулируем очень точными словами Льюиса Кэрролла из бессмертной «Алисы в Зазеркалье»: *«Здесь, как видишь, надо бежать, что есть мочи, чтобы только удержаться на месте. А если тебе надо попасть в другое место, то ты должен бежать еще в два раза быстрее».*

Об авторе

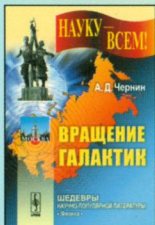
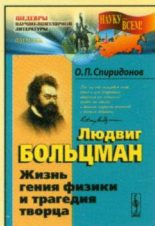
Марк Ефимович ПЕРЕЛЬМАН (1932–2010)



Доктор физико-математических наук. До 1997 г. — заведующий отделом теоретической физики и биофизики Института кибернетики Академии наук Грузии, вел курсы физики в вузах. С 1997 г. сотрудничал с Еврейским университетом в Иерусалиме, а также с Институтом физики им. Дж. Рака. Автор около 200 опубликованных работ по теоретической физике и ее приложениям в геофизике, биофизике, оптоэлектронике, а также по психологии, истории и популяризации науки; ему принадлежит ряд изобретений.

Основное направление исследований — теория длительностей взаимодействий частиц и ее приложения. Исследования понятий длительностей взаимодействий и различных их приложений подытожены в книге: *Perelman M. E. Quantum Kinetics: duration of interactions. N.Y.: Nova Sc. Publ., 2010.*

Наше издательство предлагает следующие книги:



11733:
Нахим
просп

Каталог изданий
в Интернете:
<http://URSS.ru>

E-mail: URSS@URSS.ru

Отзывы о настоящем издании, а также обнаруженные опечатки присылайте по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания и предложения будут учтены и отражены на веб-странице этой книги на сайте <http://URSS.ru>