

Карпенков Степан Харланович

Лауреат Государственной премии и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик Российской академии естественных наук. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой естествознания Государственного университета управления.

Научную и педагогическую деятельность начинал в МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автор двадцати книг, в том числе переизданных фундаментальных учебников и учебных пособий. Имеет двенадцать авторских свидетельств и патентов и более 200 работ, известных отечественным и зарубежным специалистам.

Награжден медалью «Автор научного открытия», посвященной лауреату Нобелевской премии П.Л. Капице, и удостоен Государственной научной стипендии, присуждаемой выдающимся ученым России.

С.Х.КАРПЕНКОВ **КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

**ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ**

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

Москва «Высшая школа» 2003

УДК 50
ББК 20
К 26

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *В.А. Шахов* (лауреат Государственной премии и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана); проф. *М.В. Вальяно* (зав. кафедрой философии Финансовой академии при Правительстве Российской Федерации)

Карпенков С.Х.
К 26 Концепции современного естествознания: Учеб. для вузов/
С.Х. Карпенков. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк.,
2003. — 488 с: ил.

ISBN 5-06-004242-1

Учебник написан в соответствии с Государственными образовательными стандартами (ГОС 2000). В нем изложены вопросы естественно-научного познания окружающего мира, фундаментальные концепции, принципы и законы природы, рассмотрены актуальные проблемы современного естествознания, связанные с изучением природных процессов и свойств вещества на молекулярном уровне, отражены естественно-научные аспекты энергетики, экологии и освещены важнейшие достижения естествознания, лежащие в основе современных наукоемких технологий.

Предназначен для студентов высших учебных заведений. Может быть интересен и полезен широкому кругу читателей.

УДК 50
ББК 20

Учебное издание

Карпенков Степан Харланович

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Редакторы *А.В. Бородина, Т.В. Рысева*. Художник *В.Н. Хомяков*.
Художественный редактор *Ю.Э. Иванова*. Технический редактор *Л.А. Овчинникова*.
Компьютерная верстка *С.Н. Луговая*. Корректор *В.В. Кожуткина*. Оператор *С.Н. Жигунова*

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01.

Изд. № Х/Е-271. Сдано в набор 02.04.02. Подп. в печать 18.09.03. Формат 60х88¹/₁₆.
Бум. офсетная. Гарнитура «Тайме». Печать офсетная. Объем 29,89 усл. печ. л.
30,39 усл. кр.-отг. 31,72 уч.-изд. л. Тираж 7000 экз. Зак. № 3290

ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.

Тел.: (095) 200-04-56, E-mail: info@v-shkola.ru <http://www.v-shkola.ru>

Отдел реализации: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс (095) 200-03-01. E-mail: sales@v-shkola.ru

Отдел «Книга-почтой»: (095) 200-33-36. E-mail: bookpost@v-shkola.ru

Набрано на персональных компьютерах издательства.

Отпечатано в ФГУП ордена «Знак Почета» Смоленской областной типографии
им. В.И. Смирнова. 214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.

ISBN 5-06-004242-1

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2003

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Введение	9
ЧАСТЬ I. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЙ МИР	11
1. Естествознание и окружающий мир	13
1.1. Естественные научные знания и современное образование	13
1.2. Роль естествознания в формировании профессиональных знаний	18
1.3. Естественные научные знания и сфера управления	23
1.4. Фундаментальные и прикладные проблемы естествознания	27
1.5. Естествознание и математика	31
1.6. Развитие естествознания и псевдонаучные тенденции	35
1.7. Естествознание и нравственность	42
1.8. Рациональное и иррациональное начала познания	46
<i>Контрольные вопросы</i>	56
2. Естественное научное познание окружающего мира	57
2.1. Процесс естественного научного познания	57
2.2. Формы естественного научного познания	62
2.3. Методы и приемы естественных научных исследований	70
2.4. Научное открытие и доказательство	77
2.5. Эксперимент — основа естествознания	82
2.6. Современные средства естественных научных исследований	85
2.7. Важнейшие достижения современного естествознания	90
<i>Контрольные вопросы</i>	93
ЧАСТЬ II. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ И КОНЦЕПЦИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	95
3. Фундаментальные принципы и законы	97
3.1. Физика — фундаментальная отрасль естествознания	97
3.2. Материя и движение, время и пространство	104
3.3. Концепция атомизма. Дискретность и непрерывность материи	108
3.4. Фундаментальные взаимодействия	ПО
3.5. Принцип относительности	116
3.6. Свойства пространства — времени и законы сохранения	118
3.7. Фундаментальные законы Ньютона	122
3.8. Статистические и термодинамические свойства макросистем	125
3.9. Термодинамические законы	129
3.10. Электромагнитная концепция	134
3.11. Корпускулярно-волновые свойства света	138
<i>Контрольные вопросы</i>	143

4. Атомный и нуклонный уровни строения материи	144
4.1. Структура атомов	144
4.2. Корпускулярно-волновые свойства микрочастиц	147
4.3. Вероятностный характер микропроцессов	150
4.4. Современные атомные системы	153
4.5. Ядерные процессы	156
4.6. Элементарные частицы	164
4.7. Перспективы развития физики микромира	166
<i>Контрольные вопросы</i>	169
ЧАСТЬ III. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ	171
5. Концепция развития и эволюция Вселенной	173
5.1. Сущность концепции развития	173
5.2. Эволюция Вселенной	176
5.3. Структура Вселенной	182
5.4. Средства наблюдения объектов Вселенной	185
5.5. Проблема поиска внеземных цивилизаций	188
5.6. Солнечная система — часть Вселенной	190
5.7. Земля — планета Солнечной системы	195
<i>Контрольные вопросы</i>	202
6. Естественные научные знания о веществе	203
6.1. Развитие химических знаний	203
6.2. Синтез химических веществ	207
6.3. Современный катализ	212
6.4. Образование земных и внеземных веществ	218
6.5. Природные запасы сырья	220
6.6. Органическое сырье	227
6.7. Новые химические элементы	234
6.8. Перспективные химические процессы	238
6.9. Современные материалы	243
6.10. Перспективные материалы	252
<i>Контрольные вопросы</i>	261
7. Биосферный уровень организации материи	262
7.1. Зарождение живой материи	262
7.2. Носитель генетической информации	264
7.3. Структура и функции белков	269
7.4. Строение и разновидности клеток	271
7.5. Происхождение жизни	275
7.6. Предпосылки эволюционной идеи	279
7.7. Эволюция жизни	283
7.8. Растительный и животный мир	294
7.9. Человек — феномен природы	302
7.10. Жизнеобеспечение человека	310
7.11. Продление жизни организма	321
7.12. Формирование ноосферы	327
<i>Контрольные вопросы</i>	328
ЧАСТЬ IV. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ	329
8. Естественные научные аспекты технологий	331
8.1. Развитие средств информационных технологий	331

8.2. Современные средства накопления информации	337
8.3. Мультимедийные системы и виртуальный мир.	342
8.4. Микро- и нанoeлектронные технологии.	344
8.5. Лазерные технологии.	352
8.6. Современные биотехнологии.	359
8.7. Генные технологии.	361
8.8. Проблема клонирования.	364
<i>Контрольные вопросы.</i>	<i>366</i>
9. Естественно-научные проблемы современной энергетики.	367
9.1. Энергия — источник благосостояния.	367
9.2. Преобразование энергии.	369
9.3. Эффективность производства и потребления энергии.	373
9.4. Тепловые электростанции.	375
9.5. Повышение эффективности энергосистем.	376
9.6. Гидроисточники и геотермальные источники энергии.	382
9.7. Гелиоэнергетика.	387
9.8. Энергия ветра.	389
9.9. Атомная энергетика.	392
9.10. Особенности отечественной энергетики.	396
<i>Контрольные вопросы.</i>	<i>398</i>
10. Естественно-научные аспекты экологии.	399
10.1. Глобальные катастрофы и эволюция жизни.	399
10.2. Предотвращение экологической катастрофы.	403
10.3. Природные катастрофы и климат.	405
10.4. Парниковый эффект и кислотные осадки.	412
10.5. Сохранение озонового слоя.	416
10.6. Водные ресурсы и их сохранение.	420
10.7. Потребление энергии и среда нашего обитания.	422
10.8. Радиоактивное воздействие на биосферу.	425
10.9. Естественно-научные проблемы защиты окружающей среды	431
<i>Контрольные вопросы.</i>	<i>434</i>
11. Гармония природы и человека.	435
11.1. Человек и природа.	435
11.2. Сохранение природных ресурсов.	436
11.3. Обновление энергосистем.	438
11.4. Эффективное потребление энергии.	439
11.5. Экономия материальных ресурсов.	444
11.6. Экономия ресурсов на транспорте.	446
11.7. Города и природа.	451
11.8. Решение проблем утилизации.	454
11.9. Перспективные технологии и окружающая среда.	459
11.10. Глобализация биосферных процессов.	460
<i>Контрольные вопросы.</i>	<i>462</i>
Заключение.	464
Литература.	465
Словарь специальных терминов.	466
Указатель имен.	479

*Посвящается молодым
людям, одержимым жаждой
знаний — источником
гармонии и совершенства*

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание предлагаемой книги вышло в свет в 1997 г. Это был один из первых учебников, посвященных дисциплине «Концепции современного естествознания», изучаемой студентами высших учебных заведений социально-экономических и гуманитарных направлений.

По мере накопления новых материалов и сведений последующие издания существенно дорабатывались, дополнялись и в них вносились исправления и уточнения. При доработке учитывался многолетний опыт чтения лекций и проведения практических занятий в Государственном университете управления. В результате учебник совершенствовался и видоизменялся: сократилось число глав с девятнадцати (в первом издании) до одиннадцати (в более поздних изданиях), устаревшие сведения заменены новыми, некоторые разделы написаны заново и т. п. Шестое издание существенно переработано и исправлено.

В предлагаемом учебнике в сжатой и доступной форме изложены фундаментальные естественно-научные знания, т.е. знания о природе, которые нужны каждому образованному человеку, чтобы не только поведать тайны, могущество и красоту природы, но и понять, что нужно сделать, чтобы сохранить окружающую среду и жить в гармонии с природой.

При изучении концепций современного естествознания полезно помнить наставление русского публициста Д.И. Писарева (1840—1868): «Надо учиться в школе, но еще гораздо более надо учиться по выходе из школы».

Книга предназначена для студентов высших учебных заведений дневной, вечерней и заочной форм обучения по специальностям экономики, юриспруденции, управления, философии, социологии, экологии, менеджмента, маркетинга, товароведения, туризма, бизнеса, финансов, предпринимательства и др.

Москва, 2003 г.

Автор

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЯТОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемое пятое издание настоящего учебника переработано и по сравнению с предыдущим содержит новые сведения о последних важнейших достижениях в области естествознания.

Учебник состоит из четырех частей. В части I обоснована практическая значимость естествознания в современном обществе и рассмотрены основные положения естественно-научного познания окружающего мира. В части II изложены фундаментальные законы и концепции естествознания. Часть III посвящена естественно-научным концепциям развития процессов в природе. В части IV рассмотрены естественно-научные основы современных технологий, энергетики и экологии.

Материал учебника изложен в рамках концепций — основополагающих идей и системного подхода — и представлен в наглядной и доступной форме.

Москва, 2002 г.

Автор

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

В современном обществе большое внимание уделяется не только различным отраслям естествознания, но и бурно развивающимся наукоемким технологиям, энергетике и экологии. Фундаментальным концепциям естествознания и естественно-научным основам современных технологий, энергетики и экологии посвящен настоящий учебник.

Он состоит из пяти частей, в которых последовательно излагаются основные вопросы, предусмотренные Государственными образовательными стандартами для изучения дисциплины «Концепции современного естествознания» в высших учебных заведениях.

Учебник написан на уровне концепции естественно-научных проблем, т. е. с учетом основополагающих идей, систем взглядов на изучаемые вопросы. При изложении материала использованы широко известные термины и простые математические формулы, отражающие фундаментальные законы природы. Естественно-научная сущность освещаемых вопросов представлена в доступной форме для широкого круга читателей.

Книга предназначена для студентов высших учебных заведений дневной, вечерней и заочной форм обучения экономических, юридических, философских и других гуманитарных специальностей.

Москва, 1997

Автор

Наконец-то я подаю
руку по-настоящему
полезной науке.

Гораций

ВВЕДЕНИЕ

Каждого человека, начиная с самого раннего возраста, отличает любопытство — естественное стремление познать окружающий мир. «Любопытство сродно человеку и просвещенному, и дикому», — утверждал выдающийся русский историк и писатель Н.М. Карамзин (1766—1826). С возрастом неосознанное любопытство постепенно перерастает в осознанное желание познать законы, которые управляют природой, научиться применять их в своей трудовой деятельности, предвидя возможные ее последствия. Законы природы и способы их применения отражают концентрированный опыт человечества. Опираясь на него, человек способен защитить себя от ошибок, и ему легче достичь желаемых целей. Концентрированный опыт человечества лежит в основе любого образовательного процесса.

Естествознание — наука о явлениях и законах природы. Современное естествознание включает множество естественно-научных отраслей: физику, химию, биологию, физическую химию, биофизику, биохимию, геохимию и др. Оно охватывает широкий спектр вопросов о разнообразных свойствах объектов природы, которую можно рассматривать как единое целое.

Важнейшие достижения естествознания составляют фундаментальную базу современных наукоемких технологий, на основе которых производится разнообразная продукция, в том числе и товары повседневного спроса. Для того чтобы знать, какой ценой дается такая продукция — важнейшая составляющая экономики, каковы перспективы развития современных технологий, тесно связанных с экономическими, социальными и политическими проблемами, нужны фундаментальные знания о природе — естественно-научные знания. В наше время естественно-научные знания превратились в сферу активных действий и представляют собой базовый ресурс экономики, по своей значимости превосходящий материальные ресурсы: капитал, землю, рабочую силу и т.п. Естественно-научные знания и основанные на них современные технологии формируют новый образ жизни, и высокообразованный человек не может дистанцироваться от фундаментальных знаний об окружающем мире, не

рискуя оказаться беспомощным в профессиональной деятельности. «Без естественных наук нет спасения современному человеку; без этой здоровой пищи, без этого строгого воспитания мысли фактами, без этой близости к окружающей нас жизни», — такую высокую оценку естественно-научным знаниям дал русский писатель и философ А.И. Герцен (1812—1879).

Если излагать подробно естественно-научные знания, накопленные во всех отраслях естествознания, то получится огромный фолиант, может быть, и нужный, но малополезный даже для специалистов естественно-научного профиля, не говоря уже о специалистах гуманитарных и социально-экономических направлений. Задача изложения усложняется еще и тем, что его форма должна быть доступной для студентов, чья будущая профессиональная деятельность не имеет прямого отношения к естествознанию. Для решения этой задачи нужен обобщающий философский принцип. Сущность его заключается в изложении естественно-научных знаний в рамках *концепций — основополагающих идей и системного подхода*. Концептуальный принцип позволяет студентам получить фундаментальные, комплексные знания о природе, а на их основе более глубоко изучить узкоспециализированные дисциплины.

Современные средства естествознания дают возможность исследовать многие сложнейшие процессы на уровне атомных ядер, атомов, молекул, клеток, а затем и синтезировать ранее не существовавшие в природе вещества с необычными свойствами, а из них производить новые материалы для различных машин, устройств, изделий и т.п. Кроме того, благодаря таким исследованиям выращиваются высокоурожайные культурные растения, разрабатываются высокоэффективные средства лечения болезней и т.д.

Любое перспективное направление деятельности человека прямо или косвенно связано с новой материальной базой и новыми технологиями, и знание их естественно-научной сущности — залог успеха. Без фундаментальных знаний о природе может сложиться ошибочное общественное мнение, приводящее к необъективному решению, как это случилось, например, при необоснованном объявлении временного (1975—1985) моратория на генную инженерию. Следовательно, естественно-научные знания нужны не только высококвалифицированным специалистам, но и любому образованному человеку вне зависимости от сферы его деятельности.

Знания не приходят сами по себе. Нужно усердно работать, прилежно учиться. «Надо учиться не стыдась, а учить не скупясь», — так сказал в далекие времена известный мыслитель Василий Великий (ок. 330—379), и только в этом случае можно надеяться на успех.

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

А.С.Пушкин





Естествознание и окружающий мир



Естественно-научное познание окружающего мира



Для нас наука естествознание — тот самый рычаг, который единственно способен повернуть весь мир лицом к солнцу.

М. Горький

1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ОКРУЖАЮЩИЙ МИР

1.1. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

На протяжении всей истории развития общества основу образования составляли знания о природе, знания о человеке и знания об обществе. Очевидно, эти три составляющие образования взаимосвязаны: природа породила человека, а люди образуют общество. По мнению выдающегося русского историка В.О. Ключевского (1841—1911), «человеческая личность, людское общество и природа страны — вот те три основные силы, которые строят людское общежитие... Идеал исторического воспитания народа состоит в полном и стройном развитии всех элементов общежития и в таком их соотношении, при котором каждый элемент развивается и действует в меру своего нормального значения в общественном составе, не принижая себя и не угнетая других».

Длительная история развития цивилизации показывает, что далеко не всегда, а вернее, никогда названные элементы разных по форме и содержанию образовательных систем не находились в полном и стройном развитии, т.е. не составляли гармонического единства. Так, в древние времена знания о природе — естественно-научные знания — носили описательный, умозрительный, натурфилософский характер. Основное внимание уделялось знаниям о человеке.

Древнегреческий мыслитель Сократ (ок. 470—399 до н.э.) полагал, что единственная функция знаний — это самопознание, т.е. интеллектуальный, нравственный и духовный рост человека. Его современник, древнегреческий философ Протагор (ок. 480—410 до н.э.), утверждал, что цель знаний — сделать деятельность человека более успешной и эффективной. Однако из утверждений древнегреческих философов не следует, что знания обладают полезностью, заключающейся в умении и навыках. Считалось, что приобрести умения и навыки можно только поступив в обучение или накопив собственный опыт. Вплоть до начала XVIII в.

в английском языке понятие «ремесло» выражалось словом «*mystery*», означающее «тайнство», не только потому, что обладавший секретом того или иного ремесла давал клятву не раскрывать секретов, но и потому, что ремесло было недоступно для человека, не прошедшего обучение у мастера и не перенявшего на практике его тайн.

На Руси уже в XIV в. возникла уникальная общность вольных мастеров, известная под названием «артель». В отличие от подобного рода общностей на Западе, артель была не только и не столько коммерческим объединением мастеров узкого профиля в современном представлении, а скорее общностью единоверцев, исповедующих законы свободы и справедливости. Будучи своеобразной формой общественного труда, артель определяла правила жизни, влияла на образ жизни каждого, воздавая ему по делам его и по делам его рода. Ценность личности определялась принадлежностью к роду мастеров.

С развитием естественно-научных знаний, когда начиная с XVIII в. открываются первые фундаментальные законы природы с последующим их практическим применением, появляется понятие «технология». Оно происходит от слов *techne* — искусство, ремесло, *logos* — понятие, учение, что вместе означает организованное, систематизированное, целенаправленное знание. Для изучения технологий стали создаваться учебные заведения. Первое техническое учебное заведение — Школа мостов и дорог — основано во Франции в 1747 г.; за ним последовали первая Школа сельского хозяйства в 1770 г. и первая Школа горного дела в 1776 г. (обе в Германии). В 1794 г. во Франции был открыт первый технический университет — Политехнический университет, а вместе с ним возникла и профессия инженера. Вскоре в систематизированную отрасль знаний была преобразована медицинская практика.

Вхождение в науку и постижение технологий в России определялось особенностями ее природы и хозяйственного быта вместе со складом характера и ума великороссов, которые, по мнению В.О.Ключевского, «мыслят и действуют, как ходят; кажется, что можно придумать кривее и извилистее великорусского проселка? Точно змея проползла. А попробуйте пройти прямо: только проплутаете и выйдете на ту же извилистую тропу». И вместе с тем «ни один народ в Европе не способен к такому напряжению труда на короткое время, какое может развить великоросс». В русских летописях и сводах древней Руси описывались явления природы: солнечные и лунные затмения, северное сияние, появление комет и метеоритов, грозы, бури, наводнения; вносились сведения технического характера: о видах и устройстве оружия, постройке крепостей и церквей, о литье колоколов и пушек, о часах, о строительстве мостов и т.п. Причем астрономические явления отмечены с «великой точностью». Время донесло до нас имя первого русского ученого, астронома и математика Ки-

рика Новгородца, написавшего в 1136 г. научный трактат «Учение им же ведати человеку числа всех лет», аналога которому нет ни в древнерусской, ни в византийской, ни в южнославянской литературе. Феодалная раздробленность, татаро-монгольское нашествие и не только эти факторы сдерживали развитие культуры, науки и образования в России. В Европе после изобретения И. Гутенбергом (1399—1468) книгопечатания множились типографии и печатались книги на латинском языке, в то время как на Руси только что налаживалось свое книгопечатание, основанное Иваном Федоровым (ок. 1510—1583), выпустившим в 1584 г. первую русскую печатную книгу «Апостол». Коренной перелом в развитии науки, образования и культуры в России наступил при Петре I (1672—1725).

По мере развития естественно-научных знаний на Западе и прежде всего в Великобритании активизировалось изобретательство, которое привело к тому, что ремесло перестало быть таинством и секретом. Ярким свидетельством перехода от ремесла к технологии является величайший труд «Энциклопедия», изданный в 1751—1780 гг. Дени Дидро (1713—1784) и Жаном Д'Аламбером (1717—1783). В «Энциклопедии» впервые представлены в организованном и систематизированном виде знания о всех ремеслах, что позволило получить специальные знания, не нанимаясь в ученики. Статьи для «Энциклопедии» писали и выдающиеся ученые того времени, в том числе Вольтер (1694—1778), Руссо (1712—1778) и др.

Первые технические школы и «Энциклопедия» выполнили важную задачу: они свели воедино, систематизировали и сделали всеобщим достоянием знания, навыки и секреты различных ремесел, сложившиеся на протяжении тысячелетий. Практический опыт они преобразовали в знания, практическое обучение — в учебники, секреты — в методологию, а конкретные действия — в прикладные науки. Все это послужило базой для бурного развития промышленности — глобального процесса преобразования общества.

Древнекитайский мыслитель Конфуций (ок. 551—479 до н.э.) утверждал: «Три пути ведут к знанию: путь размышления — это путь самый благородный, путь подражания — это самый легкий путь и путь опыта — это путь самый горький». Вне всяких сомнений, именно так всегда развивались знания. Однако, если в начале их развития преобладал благородный путь размышления, то в последние столетия определяющим стал путь опыта, эксперимента, практики — самый трудный, но результативный путь познания окружающего мира, ведущий к развитию естественно-научных знаний, а вместе с ними и специализированных, отраслевых знаний, для достижения конкретных результатов, полезных не только самому человеку, но и обществу и способствующих развитию образования. То, что сейчас принято считать истинными знаниями, постоянно доказывает свою значимость и проверяется на практике.

Знания сегодня — это информация, имеющая практическую ценность. В последнее время все чаще говорят о переходе к экономике, основанной на движении не традиционных материальных товаров и ресурсов, а идей и знаний, т.е. информации. Такому переходу способствует развитие информационных технологий, благодаря внедрению которых, например, в США прирост внутреннего валового продукта составил 30%, а объемом продаж информационных технологий — около 600 млрд. долларов в год, и в результате информационная отрасль в этой стране опередила авиационную и автомобильную промышленность.

Диктуемое временем стремление к узкой специализации, многопредметность в средней и высшей школах, перенасыщенность учебных программ — все это ведет к тому, что не только учителя и преподаватели, но и их ученики — будущие специалисты разных отраслей, подобно строителям Вавилонской башни, перестают понимать друг друга. При этом постепенно утрачиваются универсальность и широта образования. Избыточность и излишняя инструктированность информации рождает информационный хаос, который отвращает от знаний и, в свою очередь, порождает невежество. Тогда наступает время, когда, выражаясь словами писателя М. Е. Салтыкова-Щедрина (1826—1889), «общество, гонимое паникой, отвращается от знания и ищет спасения в невежестве». С потерей универсальности и широты образования теряется возможность быстро усвоить новые знания, связанные с новыми научными технологиями, для освоения которых недостаточно только узкоспециализированных знаний.

В более явном виде и в более сильной форме стала проявляться обособленность естественно-научных и гуманитарных знаний, между ними образовалась огромная пропасть, на которую еще в 50-х годах XX в. обратил внимание английский писатель Чарлз Сноу (1905—1980). По его мнению, общество не может выжить без знаний того дома, в котором оно живет, т.е. без знаний об окружающем мире или, другими словами, без естественно-научных знаний. Однако даже такие знания теряют свою значимость, если общество не в состоянии согласовать свои действия и поведение с фундаментальными законами природы и их следствиями, если общество теряет духовно-нравственные ориентиры. Эту мысль можно продолжить словами Святейшего Патриарха Московского и всея Руси Алексия II (р. 1929): «Я убежден: как бы ни возросло человечество за прошедший век в собственных глазах, ему надо вновь сесть за школьную парту. Нужно снова учиться тому, что люди растеряли за годы упоения собственной силой и гордыней, — учиться смирению, умению аскетически ограничивать свои желания, послушанию воле Божией, нравственному образу жизни. Иначе все достижения науки и техники обратят свою силу против нас, а Вавилонская башня человеческого могущества падет,

погребая своих строителей под обломками. Труднейшей для каждого из нас будет работа не внешняя, а внутренняя. Евангелие советует нам обратить взор прежде внутрь самих себя».

К пониманию необходимости целостности современного образования, основанного на знаниях о природе, человеке и обществе, пришли многие исследователи как в России, так и в других странах. Пришли разными путями и из разных соображений. И предлагают решить проблему по-разному: одни видят ее решение в гуманитаризации научно-технического образования, а другие — в необходимости естественно-научных знаний для специалистов гуманитарных направлений. При этом те и другие приходят к единому мнению: цель изучения всех дисциплин одна и та же — обеспечить будущность существования человека в биосфере. Однако четко обозначенная цель не определяет средства ее достижения. Действительно, объем необходимой для изучения информации чрезвычайно большой. Возникает вопрос: как ее изучать? А вслед за ним и другой вопрос: можно ли ее изучить? Оказывается, можно, если воспользоваться концептуальным принципом, позволяющим изучать предмет в рамках основополагающей идеи и системного подхода. Такой фундаментальный принцип образования является не только предметом обсуждений, но и руководством к действию: в государственные образовательные стандарты введена новая дисциплина «Концепции современного естествознания» для обязательного изучения студентами вузов гуманитарных и социально-экономических направлений. В некоторых вузах открыты естественно-научные центры и кафедры. В частности, в Государственном университете управления открыта кафедра естествознания, где создана учебная лаборатория, в которой студенты проходят лабораторный и компьютерный практикумы.

Концептуальный принцип, положенный в основу дисциплины «Концепции современного естествознания», позволяет на уровне основополагающих идей и систем взглядов сформировать естественно-научное мировоззрение. Думается, на таком принципе могут быть построены специальные научно-технические и гуманитарные дисциплины, что значительно облегчит их изучение. Концептуальный подход в изучении естествознания безусловно полезен для студентов не только гуманитарных и социально-экономических, но и технических, физико-математических, медицинских, педагогических и многих других направлений. Включение дисциплины «Концепции современного естествознания» в учебные программы вне всякого сомнения поможет студентам приобрести навыки учиться новому, что создаст фундаментальную основу для дальнейшего развития образования: естествознание никого не выбирает, оно освещает истинный путь каждому и каждого делает свободным в широком смысле слова, свободным от неправильных действий и решений.

1.2. РОЛЬ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ

Многообразие проявлений окружающего нас мира требует глубокого и комплексного восприятия фундаментальных понятий о материи, пространстве и времени, о добре и зле, о законе и справедливости, о природе поведения человека в обществе. Фундаментальные законы, понятия и закономерности отражают не только объективную реальность материального мира, но и мира социального. К сожалению, прошедший век оставил немало примеров того, что забвение фундаментальных истин наносило и наносит невосполнимый ущерб природе, живому миру, самому человеку.

Завершился XX век, явивший миру черты новой цивилизации. Человек вышел в космос, проник внутрь атомного ядра, освоил новые виды энергии, создал мощные вычислительные системы, разгадал генетическую природу наследственности, научился использовать в невиданных масштабах богатство природы. Однако гораздо менее он преуспел в рациональном и бережном отношении к природе и к богатейшим ее ресурсам.

Что же происходит сейчас, в период интенсивного техногенного развития человечества? По оценкам палеонтологов, за все время эволюции жизни на Земле чередой прошли около 500 млн. видов живых организмов. Сейчас их насчитывается примерно 2 млн. Только в результате вырубки лесов суммарные потери составляют 4—6 тыс. видов в год. Это приблизительно в 10 тыс. раз больше естественной скорости их вымирания до появления человека. Одновременно наша планета интенсивно пополняется множеством видов искусственно созданной продукции, иногда называемых техногенными видами популяции. Ежегодно производится около 15—20 млн. различных машин, приборов, устройств, строений и т.п., которые образуют своеобразную техногенную сферу.

Новые технологии земледелия не обходятся без гигантского потока химических веществ. Энергетика стала обязательной спутницей любой развитой страны. Но она же является и одной из причин нарушения экологического равновесия — глобального потепления, вызванного парниковым эффектом, что подтверждается не только ежегодным повышением средней температуры воздуха, но и ростом уровня Мирового океана на 2—3 мм в год. Разрушается озоновый слой, защищающий все живое от чрезмерного ультрафиолетового излучения; во многих регионах нашей планеты выпадают кислотные осадки, приносящие громадный ущерб живой и неживой природе.

Все это — в значительной степени результат активного вмешательства человека в природу, свидетельство неудовлетворительного состояния индустриально-технологической практики, образовательной философии,

снижения нравственного и духовного уровня человека. Общество фактически смирилось с подготовкой специалистов узкого профиля, имеющих ограниченный кругозор. Дифференциация и специализация, вроде бы диктуемые логикой научного процесса, в действительности порождают многие экологические и социальные проблемы. В такой ситуации ученые и представители прогрессивной общественности зачастую оказываются бессильны решить эти проблемы, а также справиться с инстинктом толпы, которой руководит чаще всего желание создать удобный, комфортный образ жизни.

Назрела необходимость кардинального пересмотра всей системы знаний о мире, человеке и обществе. При этом необходимо осознанно вернуться к изучению единого мироустройства, к целостному знанию, но на более высоком витке его развития. Другими словами, возникла объективная необходимость в повышении роли фундаментальной базы образования, построенной на основе органического единства его естественно-научной и гуманитарной составляющих. Человек должен увидеть и осознать свою зависимость от окружающего его мира.

Можно назвать две группы причин, указывающих на необходимость повышения роли фундаментальной базы образования. Первая группа связана с глобальными проблемами цивилизации, нынешний этап развития которой характеризуется наличием признаков экономического, экологического, энергетического, информационного кризисов, а также резким обострением национальных и социальных конфликтов во многих странах мира. Вторая группа причин обусловлена тем, что мировое сообщество в последние десятилетия ставит в центр системы образования приоритет личности. Формирование широкообразованной личности требует решения ряда взаимосвязанных задач. Во-первых, нужно создать оптимальные условия для гармонических связей человека с природой посредством изучения естественно-научных фундаментальных законов природы. Во-вторых, человек живет в обществе и для его гармоничного существования необходимо погружение в культурную среду через освоение истории, права, экономики, философии и других наук.

Концепцию фундаментального образования впервые отчетливо сформулировал в начале XIX в. немецкий филолог и философ Вильгельм Гумбольдт (1767—1835). В ней подразумевалось, что предметом изучения должны быть те фундаментальные знания, которые рождаются на переднем рубеже развития науки. Фундаментальное образование должно сочетаться с научными исследованиями. Эта прогрессивная система образования реализована в лучших университетах мира. Важную роль в фундаментальном образовании играют естественно-научные знания, которые помогают будущим специалистам гуманитарных и социально-экономических направлений расширить кругозор и познакомиться с конкретны-

ми естественно-научными проблемами, тесно связанными с экономическими, социальными и другими проблемами, от решений которых зависит технологический уровень развития общества.

Любой специалист вне зависимости от профиля и специфики его деятельности так или иначе рано или поздно касается проблем управления. А это означает, что он должен владеть знаниями менеджмента. На первый взгляд может показаться, что естествознание — ненужный груз для специалистов управления, экономики, руководителей предприятий и других подобного рода специалистов. Однако любой специалист, если он истинный специалист и прежде всего менеджер или экономист, должен владеть не только законами управления и экономики, но и естественно-научной сущностью объекта, для которого проводится, например, экономический анализ. Без знаний естественно-научной сущности анализируемого объекта и без понимания естественно-научных основ современных технологий менеджеры, даже владеющие знаниями менеджмента и экономики, не смогут дать квалифицированных рекомендаций по оптимальному решению даже самого простого вопроса, связанного с оценкой, например, экономической эффективности применения различных предлагаемых технологий изготовления какого-либо товара. Ведь каждая технология характеризуется своей спецификой, влияющей на качество выпускаемого товара, своей материально-технической базой, воздействием на окружающую среду и т. п., а это означает, что поставленный вопрос сопряжен с решением комплекса задач, включающего и экономические, и социальные, и естественно-научные аспекты. Специалисту, владеющему вопросами современного естествознания и теоретическими знаниями управления и экономики, не составит труда решить не только простую задачу — составить экономически обоснованный бизнес-план, но и любую сколь угодно сложную экономическую задачу.

Первую оценку того или иного предложения настоящий руководитель любого ранга обычно производит самостоятельно, прежде чем вынести окончательное решение. Вероятность того, что оценка будет объективной, а решение единственным и правильным, тем выше, чем шире профессиональный кругозор руководителя, что чрезвычайно важно для принятия особо ответственных решений, связанных, например, со строительством крупных объектов — мощных электростанций, протяженных магистралей и т. п., — которые затрагивают интересы колоссального числа людей, часто и всего государства, а иногда и многих государств. Без владения естественно-научными основами современных технологий производства электроэнергии вряд ли будет принято решение о строительстве такой электростанции, которая наносила бы минимальный ущерб природе и производила бы дешевую энергию. Если руководители и работающие с ними специалисты вынесут решение без учета естественно-на-

учных основ энергетики и экологии, то такое некомпетентное решение позволит построить, например, гидроэлектростанцию на равнинных реках, которые, как сейчас всем понятно, производят не самую дешевую энергию, нарушают естественный природный баланс, на восстановление которого требуется гораздо больше энергии, чем ее производят такие электростанции. Подобные некомпетентные решения могут послужить основой для строительства атомной электростанции гигантской мощности в регионе, где нет крупных потребителей энергии и где природные условия позволяют строить совершенно другой тип электростанций, например гелиоэлектростанцию, мощности которой вполне достаточно для местного потребления, но при этом не возникает проблема передачи электроэнергии на большие расстояния другим потребителям, которая влечет за собой неизбежные потери полезной энергии.

С проблемами энергетики и экологии вроде бы все понятно — ими должен владеть и инженер, и руководитель, и менеджер, и экономист. А зачем им нужны знания, например, о генной технологии. Оказывается, что нужны. Без таких знаний невозможно ни вывести высокопродуктивные породы животных, ни вырастить высокоурожайные сорта культурных растений, т.е. произвести современные продукты питания, которые нужны всем людям в независимости от сферы их деятельности.

Большинство руководителей в разных отраслях экономики и науки прямо или косвенно участвуют в распределении финансовых ресурсов. Понятно, что только при правильном, рациональном их распределении можно ожидать наибольшего экономического либо социального эффекта. Очевидно также, что оптимальное распределение финансовых ресурсов способны осуществить специалисты только высокой квалификации, профессиональный уровень которых определяют не только гуманитарные, но и естественно-научные знания.

На современном этапе развития науки и естествознания в том числе, особенно в России и странах бывшего СССР, где наука, как и вся экономика, переживает глубокий кризис, распределение финансовых ресурсов для обеспечения научных исследований и образования играет важную роль. При поверхностной, неквалифицированной оценке проблем современной науки выделяемые государством крохотные средства могут пойти на исследование ради исследований, на создание многочисленных теорий ради теорий, реальная польза от которых весьма сомнительна, на преждевременное строительство крупных экспериментальных установок, требующих колоссальных материальных затрат, и т.п. При таком подходе заслуживающие внимание исследования, чаще всего экспериментальные, отличающиеся новизной и практической значимостью, т.е. приносящие реальную пользу и весомый вклад в науку, будут откладываться до лучших времен, что, естественно, будет тормозить развитие не

только науки, но и экономики и тем самым сдерживать рост благосостояния народа. Подобный негативный результат следует из недостаточного финансирования всей системы образования.

Профессиональная целесообразность изучения основ естествознания касается в одинаковой мере и юристов. И в этом несложно убедиться. Предположим, что руководитель какого-то предприятия привлечен к ответственности за нарушение экологических норм — выброс в атмосферу больших объемов оксидов серы. А они, как известно, являются источником кислотных осадков, губительно влияющих на живую и неживую природу. Мера наказания будет зависеть от того, насколько объективно и квалифицированно сделана правовая оценка действий руководителя, а сама оценка определяется прежде всего профессиональным кругозором дающего оценку. Наряду с правовыми знаниями владение последними достижениями современных технологий, позволяющими существенно сократить выброс в атмосферу многих вредных газов, в том числе и оксидов серы, несомненно поможет юристу объективно оценить степень нарушения и причастность к нему тех или иных конкретных лиц. Всесторонние знания юриста приведут его к правильному решению и будут способствовать тому, чтобы правонарушения не повторялись. В этом случае можно считать, что основная цель высококвалифицированной подготовки и образования достигнута. «Великая цель образования, — как сказал известный английский философ и социолог Г. Спенсер (1820—1903), — это не знания, а действия».

Философы всех времен опирались на новейшие достижения науки и, в первую очередь, естествознания. Достижения последнего столетия в физике, химии, биологии и других отраслях науки позволили по-новому взглянуть на сложившиеся веками философские представления. «Философия отвлеченная, существующая сама по себе, из себя черпающая свою мудрость, прекращает свое существование», — так утверждал известный русский философ Н.А. Бердяев (1874—1948). Многие философские идеи рождались в недрах естествознания, а естествознание в начале развития носило натурфилософский характер. Про такую философию можно сказать словами немецкого философа А. Шопенгауэра (1788—1860): «Моя философия не дала мне совершенно никаких доходов, но она избавила меня от очень многих трат».

Знание концепций современного естествознания поможет многим, вне зависимости от их профессии, понять и представить, каких материальных и интеллектуальных затрат стоят современные исследования, позволяющие проникнуть внутрь микромира и освоить внеземное пространство, какой ценой дается высокое качество изображения современного телевизора, каковы реальные пути совершенствования персональных компьютеров и как чрезвычайно важна проблема сохранения природы,

которая, как справедливо заметил римский философ и писатель Сенека (ок. 4 до н.э. — 65 н.э.), дает достаточно, чтобы удовлетворить потребности человека.

Человек, обладающий общими концептуальными естественно-научными знаниями, т.е. знаниями о природе, будет действовать непременно так, чтобы польза как результат его действий всегда сочеталась с бережным отношением к природе и с ее сохранением не только для нынешнего, но и для грядущих поколений. Только в этом случае каждый из нас сможет осознанно с благоговением и восторгом повторить замечательные слова Н.М. Карамзина (1766—1826): «Нежная мать Природа! Слава тебе!»

Известный чешский мыслитель и педагог, один из основателей дидактики Ян Коменский еще в XVII в. написал «Великую дидактику», выступив с лозунгом «Обучать всех, всему, всесторонне» и таким образом теоретически обосновал принцип демократизма, энциклопедизма и профессионализма в образовании, в котором скрыты многие ценнейшие плоды будущих «богатых урожаев». Продолжая эту мысль, можно уверенно утверждать: только всесторонние естественно-научные знания освобождают человека от необдуманных разрушительных действий и помогают выбрать благодородный путь созидания.

1.3. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ И СФЕРА УПРАВЛЕНИЯ

За все время развития цивилизации знания были, есть и будут фундаментальной основой развития общества. Всегда они представляли и представляют собой действенную силу. Однако функции знаний с течением времени менялись: если в древнее время знания в основном служили для саморазвития познающего, то начиная с XVIII в. знания приобретают все больше признаков производительной силы и становятся полезными не только познающему, но и всему обществу, т.е. проявляют общественный характер. Важнейшая особенность развития современных знаний заключается в том, что они теперь используются для производства самих знаний. Поиск наиболее эффективных способов систематического и целенаправленного применения имеющихся знаний (в виде накопленной информации) для получения ожидаемых результатов — это, по сути дела, и есть управление в современном понимании. В настоящее время, как никогда, знания необходимы для того, чтобы определить, какие новые знания нужны, насколько они целесообразны и что следует предпринять для эффективного их использования. Именно целенаправленное приложение знаний определяет радикальное преобразование структуры управления во всех сферах деятельности человека — от производства товаров широкого потребления до управления наукой, образованием и государством.

Можно привести немало примеров, когда люди благодаря талантливым учителям, наставникам и собственному прилежанию, вооружившись знаниями, достигали больших успехов в управлении. «Я чту Аристотеля наравне со своим отцом, так как, если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю обязан всем, что дает ей цену», — так говорил Александр Македонский (356—323 до н.э.). Наставником и затем советником римского императора Нерона (37—68) был выдающийся философ и писатель Сенека (ок. 4 до н.э. — 65 н.э.). Российского царя Александра II (1818—1881) воспитывал известный мыслитель и поэт Василий Жуковский (1783—1852). Благородный и трудный путь управления государством Российским Петром I (1672—1725) прокладывал, опираясь на собственные знания и умения, на развитие науки российской и фундаментальное образование. Именно такое управление пробудило великую Россию от долгого средневекового сна.

Среди многочисленных отраслей знаний естественно-научные знания — знания о природе — отличает ряд важнейших особенностей: прежде всего их практическая значимость и полезность (на их основе создаются различные производственные технологии), естественно-научные знания дают целостное представление о природе, неотъемлемой частью которой является сам человек. Они расширяют кругозор и служат основной базой для изучения и усвоения всего нового, необходимого каждому человеку для управления не только своей деятельностью, но и производством, группой людей, обществом, государством. Долгое время естественно-научные знания соотносились преимущественно со сферой бытия, сферой существования человека. С течением времени они превратились в сферу действий. Если в прежние времена знания рассматривались как преимущественно частный товар, то теперь они представляют собой товар общественный.

Естественно-научные знания, как и другие виды знаний, существенно отличаются от денежных, природных, трудовых и других ресурсов. Все чаще их называют интеллектуальным капиталом, общественным благом. Знания не убывают по мере их использования, и они неотчуждаемы: приобретение одним человеком некоторых знаний никак не мешает приобретению тех же знаний другим людям, чего не скажешь, например, о купленной паре обуви. Знания, воплощенные в книге, стоят одинаково, независимо от того, сколько человек ее прочтет. Конечно, один и тот же экземпляр книги не могут купить одновременно многие покупатели, и стоимость издания зависит от тиража. Однако эти экономические факторы относятся к материальному носителю знаний — книге, а не к самим знаниям.

Вследствие своей нематериальности знания в виде информации обретают качество долговечности и для их распространения не существует

границ. Выдающийся французский писатель и мыслитель Виктор Гюго (1802—1885) писал: «В виде печатного слова мысль стала долговечной, как никогда: она крылата, неуловима, неистребима. Она сливается с воздухом. Во время зодчества мысль превращалась в каменную громаду и властно завладевала определенным веком и определенным пространством. Ныне же она превращается в стаю птиц, разлетевшихся на все четыре стороны, и занимает все точки во времени и в пространстве. Разрушить можно любую массу, но как искоренить то, что вездесуще?»

В наше время естественно-научные знания являются определяющим фактором в экономике — базовым ресурсом, имеющим такое же значение, какое в прошлом имели капитал, земля и рабочая сила. Естественно-научные разработки, внедренные в производство, приносят большую прибыль и, следовательно, служат орудием конкуренции. Знания материальной сущности товаров, новейших технологий, потребительского спроса обретают дополнительный потенциал, когда становятся неотъемлемой частью средств управления и деловой активности. Направленные действия на базе всесторонних знаний составляют сущность менеджмента — искусства управлять.

Для большинства людей сегодня, как и прежде, слово «менеджмент» означает управление производственно-коммерческой деятельностью. Действительно, оно появилось вначале на крупных коммерческих предприятиях. Но вскоре стало ясно, что умение и искусство управления необходимы на любом предприятии и в любой организации вне зависимости от их вида, структуры и функций. Выяснилось, что некоммерческие организации, как государственные, так и негосударственные, еще сильнее нуждаются в знаниях менеджмента, в эффективных способах управления, поскольку в них отсутствует фактор прибыли, дисциплинирующий любое коммерческое предприятие. Менеджер, т.е. человек, способный умело и эффективно управлять, должен обладать всесторонними фундаментальными знаниями, среди которых важнейшую роль играют естественно-научные знания. Только в этом случае он будет иметь достаточно полное представление об объекте управления, поскольку все объекты управления прямо или косвенно связаны с природой, с материальными ресурсами, сохранение которых — одна из приоритетных задач при любом виде управления. Естественно-научные знания помогают менеджеру быстро выбрать перспективное направление предпринимательской деятельности, сориентироваться в новых наукоемких технологиях, на которых основано производство современных товаров и высокопрофессиональных услуг, оценить их качество, конкурентоспособность и т.п.

Умение эффективно управлять или, по-другому, знание менеджмента, хотя и в разной степени, но все же нужны каждому, независимо от вида профессиональной деятельности, ибо любая деятельность так или

иначе связана с управлением. Эффективное управление на разных уровнях — от небольшой фирмы до государства — способствует их развитию и процветанию. Не случайно во многих российских вузах открыты специальности менеджеров по разным отраслевым направлениям. Знание менеджмента необходимо, как ни странно, и ученому, в том числе и естествоиспытателю, для того чтобы его исследования проводились не ради исследований, а носили результативный характер, приносили пользу и были востребованы. Значит, истинный ученый-естествоиспытатель должен владеть менеджментом, а настоящему менеджеру не обойтись без естественно-научных знаний.

Менеджмент и естественно-научные знания особенно важны для руководителя государства: всесторонние знания — надежная гарантия принятия обдуманных, взвешенных, всесторонне проанализированных решений, в которых не будет места строительству крупномасштабных объектов, нарушающих природный баланс, например гидроэлектростанций на равнинных реках. Благодаря таким решениям станут невозможными любые испытания ядерного оружия, даже подземные, нарушающие естественную динамику тектонической активности земной коры, а будут создаваться перспективные источники энергии с высоким КПД, автомобили и самолеты с высокоэффективными двигателями, потребляющими сравнительно мало топлива, строиться дома с надежной теплозащитой и т.п. Очевидно, что подобные знания нужны не только руководителю государства, но и всем гражданам, так как они формируют общественное мнение, влияющее на принятие тех или иных решений на уровне государства.

Все большее распространение эффективного управления и его результативность способствовали пониманию его сущности, т.е. того, что оно представляет на самом деле. Сравнительно недавно понятия «руководитель», «начальник», «менеджер» сводились к одним и тем же словам: «человек, отвечающий за работу своих подчиненных», а само управление ассоциировалось с высокими должностями и властью. Видимо, многие до сих пор сохранили подобное представление об этих понятиях. Только к началу 50-х годов прошлого века содержание и смысл названных понятий принципиально изменились. Они стали означать: «человек, отвечающий за эффективность и результаты работы коллектива». Сегодня и это определение стало слишком узким и не отражает перспективу развития самой сферы управления, которой в большей степени соответствует современное определение: «человек, отвечающий за применение знаний и его эффективность».

Принципиальное изменение целей, функций и задач управления отражает новый подход к знаниям как важнейшему из всех ресурсов. Земля, рабочая сила, капитал сегодня становятся ограничивающими факторами, хотя без них даже самые современные знания не могут принести плодов и

сделать управление эффективным. Всесторонние знания, и прежде всего естественно-научные знания, изменяют коренным образом структуру управления современным обществом и создают новые движущие силы его социального и экономического развития.

1.4. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

«Наука — самое важное, самое прекрасное и нужное в жизни человека», — так выразительно и кратко оценил практическую значимость науки великий русский писатель А.П. Чехов (1860—1904). Однако такое однозначное представление о науке не всегда находит понимание в повседневной жизни. Отношение общества к науке и особенно к естествознанию определяется в основном пониманием ценности науки в данный момент времени. Ценность науки часто рассматривается с двух точек зрения. Что наука дает людям для улучшения их жизни? Что она дает небольшой группе людей, изучающих природу и желающих знать, как устроен окружающий нас мир? Ценной в первом смысле считается *прикладная наука*, а во втором — *фундаментальная*.

Приведем мнение о пользе науки крупнейшего математика, физика и философа Анри Пуанкаре (1854—1912): «Я не говорю: наука полезна потому, что она научила нас создавать машины; я говорю: машины полезны потому, что, работая на нас, они некогда оставят нам больше времени для занятия наукой». Разумеется, те, кто финансирует науку, имеют несколько иную точку зрения. Для них главное — все-таки машины. В их понимании основная функция ученых должна состоять не в том, чтобы искать естественно-научную истину, а в том, чтобы находить вполне определенные, конкретные решения тех или иных практических задач.

Многие представители власти понимают, что в большинстве случаев фундаментальные исследования — это работа на будущее. Нежелание остаться без будущего в науке и приводит к осознанной необходимости финансировать фундаментальные исследования. При решении вопроса о финансировании как раз и возникает серьезная проблема отделения исследований, которые не требуют финансирования и могут обходиться немедленной реализацией собственного продукта, от тех, которые все-таки требуют финансирования. Другими словами, как отличить прикладные исследования от фундаментальных? Ведь иногда некоторые исследования, прикладные по существу, но никуда на самом деле «не прикладываемые», могут рядиться в одежды фундаментальные, и исследователи при этом могут требовать ничем не оправданных вложений.

Приведенный выше признак разделения проблем естествознания на прикладные и фундаментальные нельзя считать критерием для финанси-

рования научно-исследовательских работ. Недостаток его — расплывчатость и неконкретность. Задача разделения усложняется еще и тем, что нередко прикладные и фундаментальные исследования переплетаются между собой. Например, исследователь, изучающий ударную волну, производимую сверхзвуковым самолетом, может считать, что познает гармонию мира. Если при этом он открыл новое физическое явление и нашел ему практическое применение, то это пример удачного сочетания фундаментальных и прикладных исследований.

Разделение естественно-научных проблем на прикладные и фундаментальные часто производят по чисто формальному признаку: *проблемы, которые ставятся перед учеными извне, т.е. заказчиком, относят к прикладным, а проблемы, возникшие внутри самой науки, — к фундаментальным.*

Слово «фундаментальный» не следует считать равноценным словам «важный», «большой» и т.п. Прикладное исследование может иметь очень большое значение и для самой науки, в то время как фундаментальное исследование может быть и незначительным. Существует мнение, что достаточно предъявить высокие требования к уровню фундаментальных исследований для достижения желаемой цели и выполненные на высоком уровне исследования рано или поздно найдут применение. В обосновании такого мнения приводят пример: древние греки (Аполлоний Пергский) изучали казавшиеся бесполезными в те времена конические сечения, которые примерно через 17 веков нашли неожиданное применение в теории Кеплера.

Результаты многих фундаментальных исследований, к сожалению, никогда не найдут применения, что обуславливается тремя причинами. Первую из них можно пояснить на примере тех же конических сечений. В течение примерно двадцати веков было использовано лишь несколько теорем о конических сечениях, хотя в древности их было доказано свыше ста. Если в ближайшее время или через несколько веков понадобятся подобные теоремы, то их быстро и без особых усилий докажут заново, не тратя времени на поиски исторических реликвий.

Вторая причина — фундаментальные исследования проводятся с большим превышением потребностей общества и науки прежде всего. Рождаются теории, от которых потом целиком отказываются (например, теория эпициклов). В последнее время в естествознании преобладают не экспериментальные, а теоретические работы, хотя всем понятно, что эксперимент составляет основу естествознания. Такое преобладание обуславливается объективным и субъективным факторами. Объективный фактор — современный эксперимент сопряжен со сложным дорогостоящим оборудованием. Субъективный — стремление исследователей любой ценой получить новые результаты. В результате рождаются много-

численные теории ради теорий, которыми переполнены научно-технические журналы, особенно отечественные. Вместе с тем возникают целые школы, открываются институты теоретических исследований, претендующие на финансирование своих «фундаментальных исследований».

И наконец, третья причина — исследователи всегда стремились к ничем не оправданному обобщательству. Речь идет не о мысленном переходе от единичного к более общему, т.е. обобщении как одном из важнейших принципов естественно-научного познания, а об «обобщательстве» — переформулировании на более общем и абстрактном языке с применением новой терминологии того, что было известно и раньше, но излагалось на более простом и доступном языке. Обобщательством страдают в первую очередь гуманитарные работы. Не составляют исключения математические и естественно-научные статьи, которые обычно не связаны с новыми идеями, хотя и направлены якобы на их развитие. Конечно же, подобного рода публикации не способствуют развитию ни фундаментальной, ни прикладной науки, а наоборот, сдерживают его.

К настоящему времени, к сожалению, нет точного критерия определения фундаментальных и прикладных проблем, нет ясных правил отделения полезных исследований от бесполезных, и поэтому общество вынуждено идти на издержки.

Ценность фундаментальных исследований заключается не только в возможной выгоде от них завтра, но и в том, что они позволяют поддерживать высокий научный уровень прикладных исследований. Сравнительно невысокий уровень исследований в отраслевых институтах часто объясняется отсутствием в них работ, посвященных фундаментальным проблемам.

В недрах прикладной науки, как уже отмечалось, рождаются наукоемкие технологии. Однако, несмотря на это, на территории бывшего СССР до сих пор господствует несколько высокомерное отношение к технологиям, к прикладной науке. Некоторые ученые продолжают жить вчерашним днем. Они по-прежнему считают, что призвание академических сотрудников — исключительно фундаментальные исследования. Однако наука больше не может позволить себе такую роскошь. И не только потому, что она внутренне уже готова, помимо объяснения явлений, давать и решение проблем, а потому, что она стала непомерно дорогой для общества. Общество вправе требовать, чтобы в обмен на его поддержку наука стремилась как можно быстрее выдавать на-гора практические решения и таким образом окупать себя. При подобном подходе легко выплеснуть ребенка из купели, но не видеть ключевого значения прикладной науки дальше нельзя. Кстати, на Западе тоже довольно долго существовало подобное высокомерное отношение, несмотря на то, что там намного больше денег расходуется на науку, но оно исчезло. В последнее

время в академических институтах Германии, США, Великобритании и др. прикладные аспекты науки интересуют ученых не меньше, а может быть больше, чем фундаментальные. И американский профессор, и европейский ученый стремятся увидеть практический выход своих исследований.

Нереально ожидать от Российского государства, не говоря уже об Украине, Грузии и других государствах, что они будут в полном объеме поддерживать научные исследования, т.е. будут в состоянии выделять по 100 000 долларов в год на одного ученого (это то, что на Западе тратит, скажем, биолог на исследования, на реактивы, приборы, на инфраструктуру — зарплата в эту сумму не входит). Сколь высоко мы бы себя не ценили, наивно продолжать считать, что тратя на те же исследования в десять, а то и в сто раз меньше их, мы сможем конкурировать с другими странами. Талант, конечно, компенсирует отсутствие материальных средств, но не настолько. Талантливый ученый на сегодняшний день должен быть и хорошим менеджером, и бизнесменом. Его интерес к познанию нового сегодня может реализоваться только лишь как у режиссера кино, которому нужны деньги, нужен коллектив и нужно знать, будут ли покупать его кинофильм. Нет уже в науке одиночек. Может быть, еще существуют какие-то вопросы в математике, где талант довольствуется карандашом и листом бумаги. В основном исследования — дорогостоящее коллективное предприятие, своего рода индустрия, а ученому, как кинорежиссеру, нужно видеть и уметь осветить в ней все. Разумеется, есть люди, которые, не умея этого делать, являются признанными учеными, но для них остается зачастую более скромное место в мировом научном прогрессе.

Взаимоотношения между наукой и государством не ограничиваются только товарно-денежными. Государство часто вмешивается во внутренние дела науки, а наука — во внутренние дела государства. Вмешательство государства часто приводит к отрицательным последствиям. Это можно пояснить на примере неудачи создания атомной бомбы в Германии, для правителей которой политические убеждения ученого были важнее его научных достижений. Объявление кибернетики лженаукой, гонения ученых-генетиков — все это примеры грубых вмешательств невежественных представителей власти, приведших ко всем известным печальным последствиям. Часто бывает, что чем авторитетнее ученый, тем более независим он во взглядах. Вмешательство обладателей власти искусственно нарушает нормальный ритм работы огромного организма, сложнейшей системы — науки. Подобная проблема существует с давних времен. Еще в свое время Г. Галилей в письме к герцогине Тосканской Христине писал, что вмешательство в дела ученых «означало бы, что им приказывают не видеть того, что они видят, не понимать того, что они понимают, и, когда они ищут, находить противоположное тому, что они встречают...».

Вмешательство науки в дела государственные и общественные гораздо сложнее и тоньше. Ни одно сколько-нибудь серьезное решение для общества не принимается без участия ученых. Поэтому правительства обрастают всякого рода научными комитетами, комиссиями, советниками, консультантами и т.п. «Отношения на всех уровнях иерархии при такой системе строятся по «оперной» схеме: политики, избранники народа распевают на правах солистов о благе народа, а ученые — мозговые придатки политиков — потрясают на правах статистов алебардами доходчивости и устрашения», — так писал известный американский физик И. Раби (1898—1988), лауреат Нобелевской премии. Иногда политики не понимают смысла объяснений советников. Из истории науки известно: когда Карл X посетил политехническую школу, профессор пытался объяснить ему, что гиперboloид состоит из одних прямых. Исчерпав все аргументы, профессор воскликнул: «Государь, даю вам честное слово, что это так!»

Политики вынуждены доверять советникам, а это означает, что демократическая власть, реализуемая посредством своих избранников, подменяется властью научно-технической элиты. И таким положением вряд ли можно восхищаться: демократия становится своеобразной ширмой, и советы ученых иногда носят субъективный характер.

Сложнейшие взаимоотношения государства, общественности и ученых должны основываться не только на представлении о сущности фундаментальных и прикладных проблем науки, но и на тех достижениях естествознания и гуманитарных наук, которые способствуют развитию и совершенствованию таких взаимоотношений.

1.5. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И МАТЕМАТИКА

Вряд ли вызывает сомнение правомерность утверждения: математика нужна всем вне зависимости от рода занятий и профессии. Однако для разных людей необходима и разная математика: для продавца, может быть, достаточно знания простейших арифметических операций, а для истинного естествоиспытателя обязательно нужны глубокие знания современной математики, поскольку только на их основе возможно открытие законов природы и познание ее гармонического развития. Потребность изучения математики в большинстве случаев обуславливается практической деятельностью и стремлением человека познать окружающий мир. В то же время, иногда к познанию математики влекут и субъективные побуждения. Об одном из них Сенека писал: «Александр, царь Македонский, принялся изучать геометрию, — несчастный! — только с тем, чтобы узнать, как мала земля, чью ничтожную часть он захватил. Несчастливым я называю его потому, что он должен был понять ложность своего прозвища, ибо можно ли быть великим на ничтожном пространстве».

Возникает вопрос: может ли серьезный естествоиспытатель обойтись без глубокого познания премудростей математики? Ответ несколько неожиданный: да, может. Однако к нему следует добавить: только в исключительном случае. И вот подтверждающий пример. Чарлз Дарвин, обобщая результаты собственных наблюдений и достижения современной ему биологии, вскрыл основные факторы эволюции органического мира. Причем он сделал это, не опираясь на хорошо разработанный к тому времени математический аппарат, хотя и высоко ценил математику: «...в последние годы я глубоко сожалел, что не успел ознакомиться с математикой, по крайней мере настолько, чтобы понимать что-либо в ее великих руководящих началах; так, усвоившие их производят впечатление людей, обладающих одним органом чувств больше, чем простые смертные». Кто знает — может быть, обладание математическим чувством позволило бы Дарвину внести еще больший вклад в познание гармонии природы!

Известно, что еще в древние времена математике придавалось большое значение. Девиз первой Академии — платоновской Академии — «Не знающие математики сюда не входят» — свидетельствует о том, насколько высоко ценили математику на заре развития науки, хотя в те времена основным предметом изучения была философия. Академия Платона (428/427—348/347 до н.э.), одного из основоположников древнегреческой философии, — первая философская школа, имевшая, на первый взгляд, весьма косвенное отношение к математике.

Простейшие в современном понимании математические начала, включающие элементарный арифметический счет и простейшие геометрические измерения, служат отправной точкой естествознания. «Тот, кто хочет решить вопросы естественных наук без помощи математики, ставит неразрешимую задачу. Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является», — утверждал выдающийся итальянский физик и астроном, один из основоположников естествознания Галилео Галилей (1564—1642). В своем произведении «Пробирных дел мастер» (1623) он аргументированно противопоставлял произвольные «философские» рассуждения единственно истинной натуральной философии, доступной лишь знающим математику: «Философия написана в величественной книге (я имею в виду Вселенную), которая постоянно открыта нашему взору, но понять ее может лишь тот, кто сначала научится постигать ее язык и толковать знаки, которыми она написана. Написана она на языке математики, и знаки ее — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без которых человек не смог бы понять в ней ни единого слова; без них он был бы обречен блуждать в потемках по лабиринту».

Каково же мнение по этому вопросу философов? Ограничимся лишь высказыванием выдающегося немецкого философа Иммануила Канта

(1724—1804). Развивая философскую мысль Галилея в «Метафизических началах естествознания», он сказал: «В любом частном учении о природе можно найти науки в собственном смысле лишь столько, сколько имеется в ней математики... Чистая философия природы вообще, т.е. такая, которая исследует лишь то, что составляет понятие природы вообще, хотя и возможна без математики, но чистое учение о природе, касающееся определенных природных вещей (учение о телах и учение о душе), возможно лишь посредством математики; и так как во всяком учении о природе имеется науки в собственном смысле лишь столько, сколько имеется в ней априорного познания, то учение будет содержать науку в собственном смысле лишь в той мере, в какой может быть применена в ней математика».

Можно привести не один пример зарождения из математических идей наукоемких технологий и затем новых отраслей промышленности — прежде всего авиационной и космической, в развитие которых значительный вклад внесли наши соотечественники. Действительно, российские ученые Н.Е. Жуковский (1847—1921) и С.А. Чаплыгин (1869—1942) математически обосновали подъемную силу крыла самолета и создали основы аэродинамики, а выдающиеся наши соотечественники конструкторы А.Н. Туполев (1888—1972), С.В. Ильюшин (1894—1977), А.С. Яковлев (1906—1989), Н.И. Камов (1902—1973), М.Л. Миль (1909—1970) и другие создали уникальную авиационную технику. Основоположителем современной космонавтики является российский ученый и изобретатель К.Э. Циолковский (1857—1935), впервые теоретически обосновавший возможность полета в космос и предложивший идеи создания ракетно-космической техники, в том числе и математические расчеты скорости полета ракеты, что способствовало успешному развитию отечественной космонавтики под руководством выдающегося российского ученого и конструктора С.П. Королева (1906/07—1966) при активном участии академика Б.В. Раушенбаха (1915—2001), В.Ф. Уткина (1923—2000) и др.

Без преувеличений можно утверждать, что благодаря математике естествознание становится современным. И в этом немалая заслуга наших соотечественников, выдающихся математиков А.Н. Колмогорова (1903—1987), П.С. Александрова (1896—1982), И.Г. Петровского (1901—1973), М.В. Келдыша (1911—1978), В.П. Маслова (р.1930) и др. Их трудами определяется самый высокий в мире уровень развития математики, которая способствовала и способствует зарождению многих новых естественно-научных направлений, а затем и технических отраслей.

Основу естественно-научных теорий составляет математическое описание со стройной логической структурой. Рассмотрим характерный пример логического доказательства, позволяющего сделать правильный вы-

вод, даже не обращаясь к эксперименту как необходимому элементу естественно-научной истины. Доказательство касается того, что все тела падают с одинаковой скоростью. Оно изложено Галилеем в книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся новых отраслей науки» (1638). Опровергая утверждение Аристотеля (что в то время было актом огромного мужества) о том, что более тяжелые тела падают с большей скоростью, чем легкие, Галилей приводит следующее рассуждение. Допустим, Аристотель прав, и более тяжелое тело падает быстрее. Скрепим два тела — легкое и тяжелое. Тяжелое тело, стремясь падать быстрее, будет ускорять легкое, а легкое, стремясь двигаться медленнее тяжелого, будет его тормозить. Поэтому скрепленное тело будет двигаться с промежуточной скоростью. Но оно тяжелее, чем каждая из его частей, и должно двигаться не с промежуточной скоростью, а со скоростью большей, чем скорость более тяжелой его части. Возникло противоречие, значит, исходное предположение неверно.

Приведенный пример иллюстрирует, насколько сильна логика рассуждений, присущая, как правило, математическому доказательству. Однако это не означает, что следует ограничиваться только подобного рода доказательствами. Выдающийся английский физик, создатель классической электродинамики и один из основоположников статистической физики Джеймс Максвелл (1831—1879) считал, что «следуя (только) математическому методу, мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и поэтому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи, хотя и можем предвычислить следствия из данных законов. С другой стороны, останавливаясь на физической гипотезе, мы уже смотрим на явление как бы через цветные очки и становимся склонными к той слепоте по отношению к фактам и поспешности в допущениях, которые способствуют односторонним объяснениям». При этом он подчеркивал важность физического образа того или иного явления: «Мы должны найти такой прием исследования, при котором мы могли бы сопровождать каждый свой шаг ясным физическим изображением явления, не связывая себя в то же время какой-нибудь определенной теорией, из которой заимствован этот образ... Для составления физических представлений следует освоиться с физическими аналогиями, под которыми я разумею то частное сходство между законами в двух каких-нибудь областях явлений, благодаря которому одна область является иллюстрацией для другой».

Приведенные высказывания Максвелла убеждают: только при всестороннем глубоком изучении объектов и явлений возможно познание гармонии природы, породившей человеческий разум. Однако существует ли гармония вне разума? Однозначный ответ на данный философский вопрос дал известный ученый Анри Пуанкаре, профессионально владе-

ший не только философией, но и математикой и физикой, что придает его высказыванию особую ценность, тем более что речь идет о таком неисчерпаемом предмете рассуждений, как гармония природы в математическом понимании.

Как бы ни относились рьяные материалисты к высказыванию авторитетного мыслителя Пуанкаре, вряд ли им удастся аргументированно опровергнуть его утверждение: «Но та гармония, которую человеческий разум полагает открыть в природе, существует ли она вне человеческого разума? Без сомнения — нет; невозможна реальность, которая была бы полностью независима от ума, постигающего ее, видящего, чувствующего ее. Такой внешний мир, если бы даже он и существовал, никогда не был бы нам доступен. Но то, что мы называем объективной реальностью, в конечном счете есть то, что общо нескольким мыслящим существам и могло бы быть общо всем. Этой общою стороною, как мы увидим, может быть только гармония, выражающаяся математическими законами. Следовательно, именно эта гармония и есть объективная реальность, единственная истина, которой мы можем достигнуть; а если я прибавлю, что универсальная гармония мира есть источник всякой красоты, то будет понятно, как мы должны ценить те медленные и тяжелые шаги вперед, которые мало-помалу открывают ее нам...

Нам скажут, что наука есть лишь классификация и что классификация не может быть верною, а только удобною. Но это верно, что она удобна; верно, что она является такой не только для меня, но и для всех людей; верно, что это не может быть плодом случайности.

В итоге единственной объективной реальностью являются отношения вещей, отношения, из которых вытекает мировая гармония. Без сомнения, эти отношения, эта гармония не могли бы быть восприняты вне связи с умом, который их воспринимает или чувствует. Тем не менее, они объективны, потому что общие и останутся общими для всех мыслящих существ».

1.6. РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ПСЕВДОНАУЧНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Темп развития науки. С течением времени и особенно в конце последнего столетия наблюдается изменение функций науки и в первую очередь — естествознания. Если раньше основная функция науки заключалась в описании, систематизации и объяснении исследуемых объектов, то сейчас наука становится неотъемлемой частью производственной деятельности человека, в результате которой современное производство — будь то выпуск сложнейшей космической техники, современных супер- и персональных компьютеров или высококачественной аудио- и

3*

видеоаппаратуры — приобретает наукоемкий характер. Происходит сращивание научной и производственно-технической деятельности. Появляются крупные научно-производственные объединения — межотраслевые научно-технические комплексы «наука — техника — производство», в которых науке принадлежит ведущая роль. Именно в таких комплексах были созданы первые космические системы, первые атомные электростанции и многое другое, что принято считать наивысшими достижениями науки и техники.

В недалеком прошлом естествознание считалось производительной силой. Хотя оно и не производит непосредственно материальную продукцию, но очевидно, что в основе производства любой продукции лежат естественно-научные разработки. В последнее время естественно-научные знания принято считать базовым ресурсом экономики, по своей значимости превосходящим традиционные капитал, рабочую силу и материальные ресурсы. При такой оценке принимают во внимание не столько конечную продукцию того или иного производства, сколько естественно-научную информацию, на базе которой организуется и реализуется производство материальных ценностей.

Учитывая такой важнейший показатель, как объем научной информации, можно сделать не только качественную, но и количественную оценку временного изменения данного показателя и, таким образом, определить закономерность развития науки.

Результаты количественного анализа показывают, что темп развития науки как в целом, так и для таких отраслей естествознания, как физика, биология и т.п., а также для математики, характеризуется приростом научной продукции на 5—7 % в год на протяжении последних 300 лет. При анализе учитывалось число научных статей, изобретений и т.п. Такой темп развития науки можно охарактеризовать и по-другому. За каждые 15 лет (половина средней разницы в возрасте между родителями и детьми) объем научной продукции возрастает в e раз ($e = 2,72$ — основание натурального логарифма). Это утверждение составляет сущность *закономерности экспоненциального развития науки*.

Из этой закономерности вытекают следующие выводы. За каждые 60 лет научная продукция увеличивается примерно в 50 раз. За последние 30 лет такой продукции создано приблизительно в 6,4 раза больше, чем за всю историю человечества. В этой связи к многочисленным характеристикам XX века вполне оправданно можно добавить еще две — век знаний и век науки.

Что касается развития отечественной науки, то представляют интерес следующие цифры. В 1913 г. в России было не более 12 тыс. научных работников. К 1976 г. в СССР их было около 1,2 млн., т.е. за 63 года численность научных работников выросла в 100 раз.

Совершенно очевидно, что в пределах рассмотренных показателей (их, конечно, нельзя считать исчерпывающими для характеристики сложной проблемы развития науки) экспоненциальное развитие науки не может продолжаться сравнительно долго, иначе в ближайшем будущем все население земного шара превратилось бы в научных работников. При этом следует иметь в виду, что не каждый исследователь вносит существенный вклад в подлинную науку и даже в большом числе научных публикаций содержится сравнительно небольшое количество по-настоящему ценной научной информации. Дальнейшее развитие науки будет продолжаться и в будущем, но не за счет экстенсивного роста числа научных работников и числа производимых ими научных публикаций, а за счет привлечения прогрессивных методов и технологий исследования, а также повышения качества научной работы.

Псевдонаучные тенденции. С тех пор как человечество обрело способность излагать мысли и передавать опыт познания окружающего мира, между знанием и незнанием образовалась промежуточная область, в которой всегда находилось место для описания загадочных действий колдунов, предсказаний астрологов, неопознанных летающих объектов (НЛО) и многого другого, что составляет предмет «альтернативной науки». В наше время, когда Россия и страны бывшего Советского Союза переживают глубокий экономический кризис, захлестнувший науку, когда существенно сократилось финансирование научных исследований, резко уменьшились тиражи научных, учебных и научно-популярных изданий, когда нет средств на приобретение научных журналов и книг, наблюдается небывалый рост публикаций (не только в газетах, но нередко и в научных изданиях) о колдунах, астрологах, парапсихологах, НЛО и т.п., т.е. появился мощный поток псевдонаучной информации. Значительно возрос интерес к сверхъестественному, к отрицанию завоеваний разума и ко множеству негативных проявлений иррациональности и мистицизма. Такие симптомы — характерные признаки общества с нездоровой экономикой — указывают на весьма опасные устремления в обществе, которое до недавнего времени считало себя приверженным науке, рациональным и как бы основанном на «научных» принципах.

На пути естественно-научного познания законов и явлений природы возможны два ошибочных подхода. В первом из них отрицается все ранее известное и предлагаются новые теории, которые, по мнению их авторов, способны наиболее полно и правильно описать исследуемый объект. С таким подходом вряд ли можно полностью согласиться: в процессе развития науки, как правило, отвергается и заменяется чем-то новым далеко не все. Обычную систему научных понятий расширяют, выдвигают более общие теории. При этом подразумевается: все то, что мы знали раньше, — только часть того, что мы знаем теперь. Например, классическая

механика Ньютона верна, но только для скоростей, значительно меньших скорости света в вакууме. Таким образом, ее место уточнено, но она не отвергнута, не выброшена, не забыта и не объявлена шарлатанством.

Во втором ошибочном подходе к познанию законов окружающего мира нет полного отрицания того, что известно, однако предлагаемые идеи рассматриваются в совершенно другой плоскости. Преимущественно такой подход и приводит к псевдонаучным тенденциям, которые активизируются в последнее время и являются одним из многих следствий чувства безысходности и разочарованности людей во всем происходящем.

Наука и псевдонаучные тенденции сосуществуют с древних времен. Наука с тех пор неузнаваемо изменилась: открыты новые законы, появилось множество методов и теорий, подтверждающихся практикой, а псевдонаучные представления остались на прежнем уровне.

Благодатная почва для псевдонауки возникает и в том случае, когда гипотеза принимается за истинную теорию, которая якобы легко доказывается экспериментом, пока еще никем не проведенным. Причем нередко наблюдается пренебрежение экспериментальным доказательством либо предполагается, что его должен провести кто-то другой. И здесь нельзя не согласиться с немецким писателем и философом И. Гёте (1749—1832): «Гипотеза нужна, как нужны леса для постройки зданий, но плохо, если леса принимаются за построенное здание».

Псевдонаука можно определить как область деятельности, которая при поверхностном взгляде имеет сходство с наукой, но принципиально отличается от нее внутренним содержанием и сферой приложения. В частности, она не является средством естественно-научного познания и не создает базы для развития технологий. Псевдонаука стремится быть похожей на науку, она маскируется под нее, но решает в обществе другую, психологическую задачу.

В псевдонауке можно выделить несколько направлений. Одно из них рассчитано на получение денег и почета от государства и связано чаще всего с разработкой «сверхоружия». Предлагаются заманчивые идеи: например, поражение ракет противника «плазменными сгустками», создание «окон в атмосфере, через которые прямое космическое излучение выжигает все живое на поверхности» (это не шутка, а точная цитата) и т.п. Подобные идеи успешно использовались для выкачивания денег из бюджета, особенно в советское время. Что-то подобное было и в других странах. Правда, система независимой экспертизы и меньшая коррумпированность в западных странах мешали развиваться данному направлению псевдонауки.

Другое псевдонаучное направление ориентированно в основном на удовлетворение собственных амбиций и охватывает решение наиболее

сложных, фундаментальных и глобальных проблем: выяснение природы гравитации, доказательство теоремы Ферма, трисекция угла, квадратура круга и вечный двигатель, выяснение строения Вселенной и т.д. В отличие от предыдущих подобные идеи не стоят почти ничего, разве что денег на их публикацию. В этом случае в качестве поставленной задачи выступают и реально существующая нерешенная задача, и уже решенная (можно искать простое, «понятное» решение), и задача, невозможность решения которой уже доказана, и наконец, задача, сформулированная так нечетко, что она не может быть названа корректной задачей.

Есть в псевдонауке и направление, рассчитанное на коммерческий успех и связанное со здоровьем человека, многочисленными совершенно новыми и весьма эффективными способами быстрого и абсолютно безопасного лечения. Предлагаются медицинские услуги по лечению тяжелых болезней (рак, наркомания и др.), по избавлению от лишнего веса, по предотвращению облысения и т.д., при которых человек недоволен своим внешним видом. Подобная псевдонаучная деятельность паразитирует на естественном для каждого человека желании быть здоровым и в его понимании привлекательным. Для придания убедительности обычно привлекается физическая терминология — например, магнитное поле, силовые линии и т.п. Ведутся рассуждения о том, в каких местах из дома выходят силовые линии. Убеждающие используют для наукообразия научные термины, справедливо полагая, что школьный учебник физики уже забыт и не последует возражений о том, что силовая линия не может «быть» в одном месте комнаты и «не быть» рядом. Обычный прием — сознательное смешивание бытового и научного языков.

Важная часть этой сферы псевдонаучной деятельности — издание множества книг о способах стать здоровее, моложе, красивее, решить сразу все проблемы, о третьем глазе, о том, как мгновенно совершить путешествие во Вселенную, о том, как — по меридианам или параллелям надо располагать кровати и т. п. Издание подобной литературы приносит немалые доходы. Развитию такой деятельности, особенно в нашей стране, способствуют необоснованные утверждения: все кругом отравлено — и воздух, и вода, и все продукты. Распространение псевдомедицины в странах Запада ограничивается отработанной системой сертификации медицинских услуг — государство защищает граждан. Но такая система — результат длительного развития демократического общества и общего понимания последствий псевдонаучных услуг.

В некоторых случаях знания заменяются чем-то другим, что по форме их напоминает, и тем самым потребители (общество, потенциальный заказчик, журналисты, читатели газет и др.) вводятся в заблуждение. Обы-

но что-то другое — это наукообразные рассуждения с применением научной терминологии и многочисленных ссылок на мнение академиков, экспертов, секретные доклады ЦРУ, КГБ и т.д. При этом проявляется активное желание выступать со своими идеями в газетах и журналах, не связанных с наукой, предлагается создавать новые институты и центры, принимать новые стандарты.

Несколько другая ситуация, когда человек готов работать, например строить модели вечного двигателя, а не учиться. Обычно у него нет желания и способностей получать новое знание в области естественных наук. Поэтому, как и в предыдущем случае, он занимается наукообразными рассуждениями с использованием научной терминологии. Такой «ученый-самоучка» реже выступает в прессе, однако охотящиеся за сенсациями журналисты сами его разыскивают, и в прессе появляется сообщение: в каком-то самом заброшенном сарае не признанный высокомерной официальной наукой «гениальный изобретатель» создал свой вечный двигатель, о котором и рассказал корреспонденту. Впрочем, иногда такие заметки сочиняются не выходя из редакции.

В симбиоз с псевдонаукой вступают газеты и журналы, издатели и авторы книг, рассказывающие о левитирующих лягушках и о том, как жить обнаженным в тайге и что нужно сделать, чтобы пищу приносили белочки. Иногда в подобном содружестве оказываются некоторые чиновники, распределяющие бюджетные средства и прямо или косвенно находящиеся «в доле» с получателями денег. Бывают случаи, когда сторонниками псевдонауки становятся политики. Как известно из отечественной истории, в некоторых научных дискуссиях принимало участие государство (борьба с генетикой, спекуляции в области языкознания и истории и т.п.). Государство пользовалось при этом своими специфическими аргументами — лагерями и тюрьмами. Остается надеяться, что все это осталось в прошлом, однако следует помнить об опасном признаке приближения подобной ситуации — когда «образованные» политики начинают активно вмешиваться в сугубо научные дела.

Главные потребители продукции псевдонауки — государство (для проектов чудо-оружия) и граждане (для волшебных лекарств и литературы на псевдонаучные темы). Что толкает человека в объятия колдунов в третьем поколении, специалистов по отвороту и привороту, гарантирующих успех в 500% случаев (это не шутка, так в одной газете и было написано)? Это прежде всего личные и общественные неудачи. Человек в такой ситуации чаще всего обращается к псевдонауке, к мистике. Как показывают социологические исследования, сегодня по степени интереса к

псевдонауке Россия занимает одно из первых мест в мире, далеко обогнав страны Запада.

Во все времена псевдонаука имела своих сторонников и защитников. Один из аргументов защитников псевдонауки: некоторые теории, которые сейчас считаются псевдонаучными, в свое время относились к науке. Обычные примеры — теории теплорода и эпициклов, позволившие получить проверяемые следствия. Однако следует уточнить, что теории, отвергнутые наукой, не были в свое время псевдонаучными — они не входили в противоречие с достигнутым на тот момент уровнем знаний, не использовали «ученые слова» без понимания их смысла, не выдвигались дилетантами. То, что со временем были построены другие теории, объяснившие большее количество фактов, — нормальный научный процесс.

Другой аргумент противоположный — любая новая теория принималась не сразу, сначала ее считали псевдонаукой, а наиболее революционные — например теория относительности — завоевали признание очень не скоро. Такой аргумент тоже неверен. Новые теории, выдвинутые в рамках науки, не имеют признаков псевдонауки и не считаются ею. Конечно, если положение новых теорий выглядит непривычно, то для их широкого признания нужны достаточно весомые основания — предсказанные результаты экспериментов и их объяснение.

Есть ли вред от псевдонауки? Прямого вреда, впрочем, непосредственного от веры в НЛО и растения, чувствующие на расстоянии, что их собрались сорвать, нет. Хуже другое — человек, приучившийся все воспринимать некритически, отучившись думать, становится легкой добычей всяческих жуликов, т.е. тех, которые обещают сделать несметные деньги прямо из воздуха, построить завтра рай на земле и решить все проблемы, и тех, которые берутся за тридцать часов научить всему — хоть иностранному языку, хоть каратэ.

Непосредственный вред приносит псевдомедицина. Тех, кого лечили знахари, «сильнейшие колдуны», «магистры и апостолы черной и белой магии» и «потомственные ворожеи», обычно врачи спасти уже не могут. Иногда говорят, что знахари и колдуны излечивают путем внушения, гипноза и т.д. Разумеется, это возможно, но лишь если болезни связаны с психикой либо имеют одновременно психическую и соматическую причины. Поэтому внушением достигается чаще всего кратковременное улучшение, а болезнь идет своим чередом.

В естествознании иногда бывает так, что полученные результаты измерений не вписываются в рамки старой теории. Вопрос в том, в рамки какой теории они не вписываются. Если речь идет, например, о необычных магнитных свойствах или необычно низком сопротивлении керамического образца, изготовленного из оксидов меди и лантана, то это странно (мы привыкли, что керамика — это диэлектрик) и надо бы разобраться

тщательно и перемерить семь раз. Но зато тот, кто разобрался (а не прошел мимо), открыл высокотемпературную сверхпроводимость. Неожиданности в науке бывают. Более того, в неожиданных результатах есть особая прелесть — к их достижению всегда стремятся.

1.7. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И НРАВСТВЕННОСТЬ

Развитие естествознания, науки вообще и сама жизнь общества нуждаются в урегулировании поведения и действий людей посредством не только правовых, но и нравственных норм. Существуют многочисленные и многогранные взаимосвязи естествознания и нравственности как системы социальных норм, регулирующих поведение людей и направленных на сохранение и развитие общества. Ученый-естествоиспытатель, как и любой человек, испытывает двойной контроль: внешний — со стороны государства, социальной группы, общества и внутренний — основанный на развитом чувстве ответственности, совести и нравственном идеале. Человечество выдвигало разные нравственные идеалы: гармоническое единство многообразных интересов людей, единство личного и общественного, царство справедливости, добра, правды и красоты. Они изменялись, обогащались опытом жизни. Наряду с правом в любом обществе действуют так называемые «неписанные законы», которые лежат в основе правил нравственности — *морали*.

Естествознание, как и вся наука в целом, оказывает сильное влияние на мораль, испытывая на себе обратное воздействие. Общество не может не ограничивать научный поиск, если сам поиск или его результаты противоречат нормам нравственности или сложившимся представлениям о гуманности. Вопрос, можно ли запретить постижение истины во имя спасения морали, ответа не имеет. Приоритет истины перед моралью иногда основывается на простом сравнении: мораль относительна и изменчива, а истина абсолютна и вечна. Однако справедливость такого довода весьма сомнительна. Во-первых, любая истина, в том числе и естественно-научная, всегда относительна в силу объективных и субъективных причин. Во-вторых, не всякая истина нужна людям, о чем хорошо сказал немецкий философ Шопенгауэр: «Вы превозносите достоверность и точность математики, но зачем мне с достоверностью знать то, что мне знать не нужно?»

До сих пор так или иначе ставятся под сомнение или ограничиваются некоторые этнографические исследования, эксперименты над человеческими зародышами и многое другое. Продолжают бунтовать противники *вивисекции* — операций на живом животном с целью изучения функций организма, действия на него различных препаратов, разработки новых методов лечения и т. п. До сих пор спорят, нравственна ли пересадка органов.

Остается спорной правомерность *евгеники* — учения о наследственном здоровье человека и путях его улучшения. Прогрессивные ученые ставили перед евгеникой вполне гуманные цели. Их намерения были благими. Однако идеи евгеники использовались и для оправдания расизма. Некоторые проблемы евгеники, в частности лечение наследственных заболеваний, в последнее время ученые пытаются решить с применением генных технологий и методов медицинской генетики. В связи с этим и особенно с проведенными экспериментами по клонированию млекопитающих интерес к евгенике возрос.

Создатели евгеники исходили из того, что все люди несовершенны. Уже в раннем возрасте можно заметить — одни дети одарены здоровьем, но природа «отдохнула» на интеллекте, другие не могут похвастаться физической красотой и крепостью, но опережают сверстников в умственном развитии, третьи — хорошо успевают и в школе, и в спортивной секции, но вот характер не сахар... И таким комбинациям нет числа. Эта закономерность нашла отражение даже в пословицах и поговорках («Сила есть — ума не надо» и т.п.). А сказок о глупых красавицах и умных дурнушках просто не счесть. Поэтому человек, сочетающий в себе и красоту, и силу, и интеллект, и нравственность, кажется каким-то чудом природы. У окружающих такие люди вызывают разные чувства — у кого восхищение, а у кого и зависть. А вот ученые уже много лет назад стали задумываться над тем, как и в силу каких причин появляются на свет такие редкие, всесторонне одаренные люди. И нельзя ли сделать так, чтобы их в человеческом обществе становилось все больше и больше? Как изменилась бы жизнь вокруг...

Первый, кто поставил перед собой этот вопрос, был английский психолог и антрополог Фрэнсис Гальтон (1822—1911), двоюродный брат Чарлза Дарвина (1809—1882). Аристократ по происхождению, Гальтон занялся изучением родословных прославленных аристократических семейств Англии. Его задача была ничуть не проще поисков философского камня — он пытался установить закономерности наследования таланта, интеллектуальной одаренности, физического совершенства. Гальтон считал, что если для получения новой породы необходим отбор лучших животных-производителей, то тех же результатов можно добиться и целенаправленным отбором семейных пар. Лучшие должны выбирать лучших, чтобы в результате рождались здоровые, красивые, одаренные дети. Гальтон предлагал создавать особые условия для «размножения генов» выдающихся людей из аристократических семей. Таково начало евгеники.

Однако любой селекционер знает: чтобы создать новую породу с улучшенными свойствами, нужно выбраковать примерно 95% животных. Худшие не должны участвовать в размножении — таков принцип любой

го отбора. И вот тут евгеника напрямую сталкивается с неразрешимыми проблемами, лежащими в области человеческой этики и морали.

Как бы ни были гуманны побудительные мотивы евгеники — сделать человечество более здоровым, красивым, одаренным и, в конечном счете, более счастливым, — в самой ее сути есть какой-то изъян. Она не вписывается в сложную структуру человеческого общества, сотканного из противоречий не только биологических, но и юридических, социальных, психологических, религиозных. Ведь всякое усовершенствование так или иначе начинается с разделения на плохое и хорошее, жизнеспособное и слабое, талантливое и бездарное. Разделение — а потом отбор, выбраковка не отвечающих тем или иным требованиям вариантов. На уровне человеческого общества такой отбор неизбежно означает дискриминацию.

С точки зрения чистой науки евгеника в своих посылках тоже содержит изъяны. Например, ее основная задача — изменение соотношения вредных и полезных признаков в сторону полезных. В самом деле, в некоторых случаях можно сказать, что есть «вредные» разновидности генов и «полезные». Однако по самым оптимистическим подсчетам генетиков за 200—300 лет можно было бы увеличить число «полезных» генов в человеческой популяции всего лишь на сотые доли процента. Бесполезность отбраковки «вредных» генов показали и эксперименты нацистов: в свое время в фашистской Германии были уничтожены многие психически больные, и сначала действительно рождалось меньше детей с отклонениями. Но спустя 40—50 лет, и сейчас процент психически больных в Германии приблизительно такой же, как и раньше.

Другой камень преткновения — евгеника пытается контролировать сложные поведенческие признаки людей, интеллект и одаренность, которые определяются большим числом генов. Характер их наследования очень сложен. К тому же в развитии таланта и интеллекта большую роль играют культура, язык, условия воспитания. Все это передается ребенку не через гены, а с помощью общения с близкими людьми и учителями.

Вне всякого сомнения, задачи евгеники остаются благородными. Основная дискуссия идет вокруг способов их решения. Возможно, что с развитием генных технологий сложнейшая задача улучшения наследственного здоровья человека будет решена приемлемыми и вполне цивилизованными методами.

В обществе, в котором преобладают люди с рациональным, практическим складом ума, наука развивается иначе, чем в обществе, где больше идеалистов и романтиков и где запрещающие барьеры носят национальный, этнический или сословный характер.

Влияние естествознания на мораль в обществе всегда было огромно, однако в нем никогда не было единого мнения в вопросе об оценке такого

влияния. С одной стороны, расширение горизонтов знания, разрушение унижительных предрассудков, обеспечение доступа к естественно-научным и культурным ценностям — все это имеет положительный нравственный оттенок. С другой — главный полигон испытания материализованных идей естествознания с древних времен до наших дней — поле военных действий, что побуждает видеть в науке воплощение зла и безнравственности.

Еще в недалеком прошлом многие сторонники науки надеялись, что она способна решить и нравственные проблемы. Но теперь, кажется понятно, что из науки и особенно из естествознания трудно извлечь правила о том, как надо и не надо поступать. Известно, что во многих странах большинство передовых естественно-научных достижений используется для создания новой военной техники, в том числе и средств массового поражения, рассчитанных на безнравственные действия — уничтожение людей. При этом считается, что ученые и инженеры-разработчики создают новый вид оружия для оборонительных целей. Но применение оружия в любом случае приводит к гибели людей, часто безвинных. Виноваты ли и несут ли моральную ответственность ученые, научные разработки которых служат базой для создания оружия? Или основную ответственность несут те, кто применял оружие и давал команду на его применение ради наживы либо удовлетворения своих эгоистических потребностей обладать еще большей властью? Эти вопросы, волновавшие людей еще с древних времен, включают целый комплекс правовых и нравственных проблем, решение которых зависит от политических, социальных и других факторов, а также в большей степени от того, для каких целей применялось оружие. Перед учеными чаще всего ставится вполне благородная задача — создавать эффективное оружие для защиты государства. Ученые-естествоиспытатели всегда выступали с гуманной мирной инициативой. В качестве примера можно назвать Пагуошское движение ученых за мир, разоружение, международную безопасность и научное сотрудничество. Такое общественное движение сформировалось в 1955 г. по инициативе крупных ученых: физиков А. Эйнштейна, Ф. Жолио-Кюри и философа Б. Рассела.

Взаимосвязь и сочетание естествознания как науки о природе и морали как правил нравственности, безусловно, сложны, и для их научного анализа по-прежнему остается огромное поле деятельности. Очевидно одно: естествознание вряд ли может претендовать на замещение морали. Ясно и другое: настоящим ученым всегда руководит высокий нравственный идеал, ради которого он трудится не покладая рук, ради которого он решает чрезвычайно трудную, но благородную задачу расширения горизонта естественно-научного познания загадочного и постоянно изменяющегося окружающего мира. О таком нравственном идеале написал

А. Пуанкаре в своей книге «Последние мысли»: «Наука ставит нас в постоянное соприкосновение с чем-либо, что превышает нас; она постоянно дает нам зрелище, обновляемое и всегда более глубокое, позади того великого, что она нам показывает; она заставляет предполагать еще более великое; это зрелище приводит нас в восторг, тот восторг, который заставляет нас забывать даже самих себя, и этим-то он высоко морален. Тот, кто его вкусил, кто увидел хотя бы издали роскошную гармонию законов природы, будет более расположен пренебрегать своими маленькими эгоистическими интересами, чем любой другой. Он получит идеал, который будет любить больше самого себя, и это единственная почва, на которой можно строить мораль. Ради этого идеала он станет работать, не торгуя своим трудом и не ожидая никаких из тех грубых вознаграждений, которые являются всем для некоторых людей. И когда бескорыстие станет его привычкой, эта привычка станет следовать за ним всюду; вся жизнь его станет красочной. Тем более, что страсть, вдохновляющая его, есть любовь к истине, а такая любовь не является ли самой моралью?»

1.8. РАЦИОНАЛЬНОЕ И ИРРАЦИОНАЛЬНОЕ НАЧАЛА ПОЗНАНИЯ

Рациональная и реальная картина мира. Основываясь на естественно-научном восприятии мира, многие убеждены, что окружающий мир подвластен рациональному анализу. Для них, как они полагают, все явления природы можно логически объяснить, а то, что сегодня кажется чудом, завтра станет объяснимым и понятным. В узком смысле слова «моя картина мира», «мое мировоззрение» — это мои собственные представления об окружающем мире, сложившиеся на основе его восприятия моими органами чувств. В широком смысле — это мои накопленные суждения обо всем, что воспринимают мои органы чувств и чем заняты мои мысли. Все это лишь отражение небольшой части видимого окружающего нас мира.

Многие думают примерно так: «Как можно найти место для различных невидимых абстрактных образов в крошечной картине, составленной из наших конкретных опытных представлений? Я доволен своим конечным и ограниченным восприятием мира. Внеземные явления относятся к области утопий и фантазий, и пусть о них думают другие». Перспектива такого замкнутого миропонимания должна вызывать сомнение хотя бы потому, что всякое конкретное мировоззрение находится в движении. Наши представления о мире постоянно изменяются. Мы говорим о собственном горизонте познания, который может расширяться. Чтобы раздвинуть рамки наших познаний, существует множество различных образовательных систем, книг и т.п.

Многочисленные конкурирующие между собой факторы влияют на наше мировоззрение и в конечном итоге определяют его. Они связаны с социальными, этническими, семейными и другими условиями жизни. Мировоззрение человека в значительной степени зависит от того, вырос ли он в деревне или в городе, в горах или на берегу моря, среди богатых и власть имущих или среди бедных и отверженных. Культурное окружение также формирует и представления о мире. Испытал ли он влияние той или иной религии? В каких конкретных условиях живет и работает, как соотносятся труд и отдых в его повседневной жизни? Какие традиции определяют его образ жизни, какие праздники и знаменательные даты он отмечает? Как складываются взаимоотношения между различными слоями общества и поколениями?

Генетические, психологические и многие другие факторы играют при этом тоже очень важную роль. Наряду с комплексом наперед заданных условий, которые в большинстве случаев нельзя изменить, сохраняется возможность принятия самостоятельных, индивидуальных решений. Неповторимость, неповторимость каждой личности определяется в том числе и нашими осознанными, волевыми решениями. Из огромного потока информации каждый выбирает лишь то, что хочет воспринять, и это формирует мировоззрение личности.

Трудно не согласиться с тем, что мы принципиально не в состоянии непосредственно воспринимать мир таким, каким его регистрируют наши глаза и уши: все ощущения органов чувств обрабатываются, оцениваются, фильтруются нашим мозгом и «сплавляются» затем в единую картину. Осуществляемая мозгом обработка ощущений направлена прежде всего на создание целостного восприятия. Соответственно и наши мыслительные процессы протекают так, чтобы обеспечивалось целостное понимание и вырисовывались осмысленные образы. Каждый знает из собственного опыта, что гораздо легче следить за ходом мыслей, которые нам известны, чем понять и осмыслить совершенно новые идеи. Абсолютно нормально поэтому, что человеку с рациональным мышлением представления о сверхъестественных явлениях или о Боге кажутся немислимыми и, следовательно, совершенно необоснованными.

Попробуем найти другой критерий оценки рационального восприятия мира. Приведем характерный пример, который, хотя и представляется нашей рациональной логике абсолютно невозможным, тем не менее является физической реальностью — это корпускулярно-волновой дуализм света. Если разделить луч лазера на два, то, накладываясь друг на друга, они могут «погаситься» (лучи противофазны), и, наоборот, интенсивность синфазных лучей суммируется. Это явление интерференции можно объяснить волновой природой света. Однако свет обладает и корпускулярной природой, что подтверждается экспериментально. Обе при-

роды света представляются нашей логике взаимоисключающими противоположностями, поскольку ни при каких обстоятельствах два потока частиц, накладываясь друг на друга, не могут погаситься. Двойственная природа света, или, как принято говорить в физике, дуализм света, наглядно показывает, что для понимания природы света рационального анализа недостаточно.

Можно говорить о реальности нашего познания окружающего мира при сопоставлении его тем или иным способом с нашим представлением о нем. «Наше познание реально лишь постольку, поскольку наши идеи сообразны с действительностью вещей», — так считал Джон Локк (1632—1704), известный английский философ.

Каждая эпоха рождает новые знания о природе и новый опыт восприятия окружающего мира и нас самих. Но такие знания и опыт не есть новое мировоззрение. Это лишь шаг, абсолютно необходимый для формирования мировоззрения. Людям необходимы самые разнообразные знания и все то рациональное, что добыто естествознанием, чтобы использовать могущество человека и природы во благо человека.

Человек обладает удивительным феноменом — разумом, благодаря которому он познает окружающий мир, ему дана способность анализировать происходящее и предвидеть всего лишь некоторые фрагменты будущего, хоть полностью предсказать будущее ему не дано. Но разум не всемогущ, и абсолютизация его возможностей крайне опасна. Не менее опасна и абсолютизация естественно-научной истины, которая, подобно mirage, отдалается по мере приобретения новых знаний и формирования новых эмпирических обобщений. Вот почему мировоззрение никогда нельзя свести к чисто научному, рациональному миропониманию. Такое утверждение не соответствует тем канонам, которые пытались привить нам в недалеком прошлом.

Рациональное начало нельзя смешивать с иррациональным, т.е. с тем, что не является логическим следствием того или иного эмпирического обобщения. Каждый человек живет в своей иррациональной среде, играющей важную роль в его действиях и судьбе. Трудно объяснить иррациональную сущность человека, так как она обладает своеобразной спецификой и индивидуальными особенностями, присущими каждому человеку. Мир человека — это неразрывная связь рационального и иррационального: интуиции, инстинктов, прозрений, нелогичности поведения и т.п. Любые рациональные действия, основанные на эмпирических фактах, всегда сопряжены с иррациональными элементами. Может быть, иррациональная составляющая мировоззрения дает человеку наибольшую радость, ощущение полноты и прелести жизни. Путь в мир иррационального лежит через религиозные знания, познание искусства, художествен-

ных литературных ценностей, через музыку и поэзию, которые способны, минуя логику, затрагивать самые глубинные чувства человека.

В каждом человеке заложено некое иррациональное начало, свой собственный внутренний духовный мир, который не возникает сам по себе. И если люди хотят сохранить себя, свой род, природу и все то, что накоплено человечеством за тысячелетия, им необходимо не только овладеть естественно-научными знаниями, но и научиться воспринимать те элементы иррационального, которыми богата природа и которые создает человек.

Естественно-научные и религиозные знания. Мировоззрение, включающее рациональное и иррациональное начала, отличается от науки как целенаправленной познавательной деятельности. Наличие иррациональной составляющей означает, что ограничить мировоззрение определенными рамками невозможно: в частности, нельзя сделать его основой только одну какую-либо философскую систему. История трех с лишним столетий неопровержимо свидетельствует, что любая попытка осуществить такое ограничение (например, признать только материализм в качестве универсального миропонимания, способного заменить религию) кончилась неудачей.

Вместе с тем полностью сводить религию к иррациональному было бы ошибкой, поскольку она немыслима без рациональных объяснений, лежащих в основе *теологии* (совокупности религиозных доктрин и учений), которая развивается, как и любая другая наука. Рациональный подход, таким образом, размывает границу между религией и наукой.

Для более глубокого понимания сущности научных и религиозных знаний и их различий попытаемся определить, что такое наука, не ограничиваясь при этом только аксиоматическими утверждениями: физика — это наука, биология — тоже наука, уфология — нет и т.д. Немецкий философ Георг Гегель (1770—1831) весьма удачно сформулировал основные определяющие науку признаки:

- 1) существование достаточного объема опытных данных;
- 2) построение модели, систематизирующей опытные данные;
- 3) возможность на основе модели предсказать новые факты, лежащие вне первоначального опыта.

Названные признаки характерны для любого естественно-научного открытия. Например, Периодический закон Д.И. Менделеева позволил составить таблицу химических элементов и предсказать существование ранее неизвестных химических элементов.

Согласно современному определению, *наука — сфера человеческой деятельности, функция которой — выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности*. Впрочем, это определение, как и любое другое, носит в некоторой степени аксиоматиче-

ский характер, т.е. содержит недоказуемые элементы. Известная теорема о неполноте любой содержательной аксиоматической системы австрийского математика и логика К. Геделя (1906—1978), доказанная им в 30-х годах прошлого века, гласит: «В любом языке (наука — это язык) существует истинное недоказуемое высказывание». Более того, аксиомы потому и аксиомы, что они не доказываются, а принимаются на веру. Конечно, большинство аксиом обобщает абстрагированный опыт, который и не нуждается в доказательствах, и нет ничего удивительного в том, что ему нужно верить. Однако есть и такие аксиомы и утверждения, которые ни из какого опыта не следуют. Например, в геометрии Евклида — аксиома о параллельных линиях, в физике — постулаты Бора, постулаты теории относительности и т.п. И тем не менее все они принимаются на веру. Таких аксиом и постулатов становится все больше, а это означает, что граница между наукой и религиозными знаниями, основанными на вере, размывается, т.е. представление о науке смещается в сторону религии.

В истории науки были и встречные тенденции. Например, основу философии выдающегося французского математика, физика и физиолога Р. Декарта (1596—1650) составляет дуализм души и тела — «мыслящей и протяженной» субстанции. По его мнению, Бог сотворил и материю, и движение, и покой. Декарт доказывал существование Бога и реальность внешнего мира. В книге нидерландского философа Б. Спинозы (1632—1677) «Принципы философии Декарта» содержится доказательство теоремы о существовании и единственности Бога, бессмертии души, единственности морали и др. Однако здесь слово «доказательство» можно отнести в большей степени к психологии, чем к математике.

Различия между научными и религиозными знаниями российский философ Н.А. Бердяев охарактеризовал так: «Научное знание — это такое знание, для достижения которого человек использует материал опыта и законы логики. Каждый новый элемент знания выводится из предыдущих с той же неизбежностью, с какой поезд проходит станции в указанной на карте последовательности. Ученый находится в «железных тисках» законов природы и логики. Он несвободен. Религиозное знание принципиально отличается тем, что оно ниоткуда не может быть выведено. Оно достигается в результате внезапного внутреннего озарения, как наитие свыше. Если бы существование Бога можно было доказать, то религия исчезла бы, поскольку она превратилась бы в обычное научное знание».

Однако несмотря на различия, рациональное начало науки и рациональные объяснения теологии сближают научные и религиозные знания. Рационализация церковной традиции всегда направлена на отстаивание истинного содержания христианской веры от намеренных или случайных ее искажений, а иногда и просто от враждебных нападок. Создатели тео-

50

логии опирались не только на Священное писание, но и на рационально развитые философские учения. При этом отшлифовывалась высокая интеллектуальная культура Древнего мира. Яркий пример — теология Блаженного Августина (354—430) и Святого Фомы (1225—1274), которая свидетельствует не только о глубине и силе христианской веры, но и о высочайшей интеллектуальной культуре ее создателей. Некоторые развитые рациональные космологические модели венчаются представлением о божественном начале. Вместе с тем причастность человека к божественному опыту на высшей стадии сознания предполагает наличие определенной религиозно-этической практики.

Взаимоотношения между наукой и религией складывались по-разному на Востоке и на Западе христианской цивилизации. Наиболее драматичны они были на католическом Западе и, как представляется, в значительной степени потому, что именно он стал колыбелью новоевропейской науки. Католическое богословие уже в XII в. поддается соблазну строить себя как рациональную систему знаний, включающую естественно-научные теории. Однако, поскольку космологические представления античности, на которые опиралась средневековая наука, нередко противоречили христианским догмам, церковные власти пытались решительно отменить некоторые положения античной науки, чем способствовали не только разрушению аристотелевской космологии, но и становлению науки Нового времени — экспериментального естествознания. В то время, когда зарождалось точное естествознание, основанное на математическом описании, необходимо было (чтобы избежать драматических эпизодов, подобных судьбе Коперника) разграничить понятия науки и религии. Чему в некоторой мере и способствовало возникшее в конце XVII в. новое, механистическое естествознание. Теологии в качестве собственно ее предмета была оставлена область божественного и сверхъестественного. Вместе с тем в противостоянии оккультным учениям (различным формам суеверий, магии, спиритизму и др.), чуждым христианству, нужен был новый рационализм, дающий строгое экспериментально проверяемое понимание законов природы. Такое понимание предложили выдающиеся ученые-естествоиспытатели Н. Коперник, И. Кеплер и Г. Галилей.

Союз науки и христианства, сформировавшийся в XVI—XVII вв., стал спасительным для судьбы европейской культуры. Хотя... В конце концов на науку была возложена задача явно религиозного характера: не только создать с помощью зависимой от нее техники рай на земле, но и полностью преобразовать природу. Как известно, надежды на решение этой задачи не оправдались. Может быть, еще и поэтому человек нашего времени, стараясь сохранить и приумножить ценности науки, границы и возможности которой он, конечно, теперь понимает по-новому, ищет успокоения в религии.

В отличие от католицизма, в православии божественное откровение и человеческое мышление не смешивалось. Границу между божественным и человеческим не переступали ни наука, ни церковь.

Весьма интересна история становления православной веры в России, описанная Н.М. Карамзиным в гениальном произведении «История государства Российского». Проповедники разных вероисповеданий — магометанского, иудейского, католического и православного — пытались склонить князя Владимира к принятию своей веры. Великий князь охотно выслушивал их учения. В частности, выслушав иудеев, он спросил, где их отечество. «В Иерусалиме, — отвечали проповедники, — но Бог во гневе своем расточил нас по землям чуждым». «И вы, наказываемые Богом, дерзаете учить других? — сказал Владимир. — Мы не хотим, подобно вам, лишиться своего отечества». Выслушал Владимир и православного философа, присланного греками, который рассказал кратко содержание Библии, Ветхого и Нового заветов и показал картину Страшного Суда с изображением праведных, идущих в рай, и грешных, осужденных на вечную муку. Пораженный сим зрелищем, Владимир вздохнул и сказал: «Благо добродетельным и горе злым!». «Крестися, — отвечал философ, — и будешь в раю с первыми». Владимир, отпустив философа с дарами и великою честью, собрал бояр и градских старцев; объявил им предложения магометан, иудеев, католиков, православных греков и требовал их совета. «Государь! — сказали бояре и старцы, — всякий человек хвалит веру свою: ежели хочешь избрать лучшую, то пошли умных людей в разные земли, испытать, какой народ достойнее поклоняется Божеству. И великий князь отправил десять благоразумных мужей для сего испытания. Возвратясь в Киев, послы говорили князю с презрением о богослужении магометан, с неуважением о католическом и с восторгом о византийском, закончив словами: «Узнав веру греков, мы не хотим иной». Великий князь решил принять православную веру. Так, в конце X в. в России начиналась новая эпоха — эпоха православия, сменившая язычество.

Православное понимание сфер естественно-научного знания и религии во многом предвосхитило выводы исторических и философских исследований феномена науки, предпринятых во второй половине XX в. Бурное развитие естествознания заново поставило вопрос о возникновении фундаментальных представлений о пространстве и времени, а после появления квантово-механического описания микрообъектов и других новых положений современного естествознания, окружающий нас мир более не воспринимается как огромная детерминированная система, в которой Богу просто нет места. Кроме того, и историко-философские исследования показывают существенную зависимость науки от культурных и

52

духовных взглядов, в том числе и религиозных. Итак, в настоящее время диалог между наукой и религией вышел на новый уровень.

Более осмысленными стали вопросы: как и почему возникли элементарные частицы? Почему, например, электрон имеет вполне определенный заряд и размеры? По-новому сегодня звучит и вопрос о происхождении Вселенной. Было ли что-нибудь до начала возникновения объектов Вселенной? Если нет, то как она образовалась?

Современная естественно-научная космология решает проблемы, соотносящиеся с традиционно обсуждаемыми теологией вопросами. Может быть не случайно многие ученые-естествоиспытатели и математики, начав свои изыскания людьми неверующими, каждый своим путем, по-разному, нередко приходили к вере. Казалось бы, что с развитием естествознания количество верующих с течением времени должно было все более сокращаться. Однако социологические исследования, проведенные в 1916 и 1996 гг. среди 1000 случайно выбранных американских ученых, свидетельствует о другом: за 80-летний период оно существенно не изменилось и составляет около 40%.

Конечно, Библия не описывает достаточно детально, как образовалась Вселенная и как возникла жизнь. Скорее, она говорит о том, для чего Бог создал мир, а не о том, как он создавался. Известный французский математик и физик Пьер Симон Лаплас (1749—1827), объясняя Наполеону законы мироздания, сказал, что присутствие Бога для изучения таких законов ему не нужно. Другое дело, когда возникают вопросы о том, как возник окружающий нас мир. Последователи материалистического учения Дарвина полагают, что информация в генетическом коде накапливается в течение чрезвычайно длительного периода времени в результате случайных мутаций. Можно представить, что в результате случайных перестановок различных букв алфавита образовалось слово, но практически невозможно вообразить себе, чтобы при случайном выборе и соединении букв в слова и отдельных слов в законченные предложения, а затем из отдельных предложений в повествование с заданным сюжетом была создана целая книга — вероятность такого процесса, хотя и отлична от нуля, но ничтожно мала.

Известный современный английский астрофизик Фред Хойл (р. 1915) в результате строгих математических расчетов пришел к выводу, что вероятность случайного зарождения жизни примерно такая же, как и вероятность того, что в результате сильного урагана, пронесшегося на мусорной свалке, будет создан сверхзвуковой самолет. По мнению другого современного английского биофизика и генетика Фрэнсиса Крика (р. 1916) — одного из создателей модели молекулы ДНК (двойной спирали), лауреата Нобелевской премии 1962 г. — «происхождение жизни кажется чудом, и с ее зарождением связано слишком много сложностей».

Вера в слепой случай как альтернативная вера лежит в основе атеизма. Анализируя мировоззренческие корни атеизма, Вольтер (1694—1778) писал: «В Англии, как и повсюду, были и есть много атеистов из принципа... Я знал во Франции некоторых выдающихся физиков, и — сознаюсь — меня крайне удивляло, что люди, так ясно представляющие себе приводные пружины природы, не хотят видеть руку того, кто так зримо определяет взаимодействие этих пружин. Мне кажется, что среди прочего к материализму их привела вера в бесконечность и наполненность мира, а также вера в вечность материи. По-видимому, именно эти принципы и ведут к заблуждению; напротив же, известные мне последователи Ньютона, исходящие из существования пустого пространства и конечности материи, допускали и существование Бога».

Современные естественно-научные работы по расшифровке генома человека, опыты по клонированию животных никак не объясняют происхождение генетического кода. Впрочем, возможно, как и Лаплас, ученые-естествоиспытатели не нуждаются в гипотезе о существовании Бога для описания функционирования генетического кода и даже для его понимания, хотя при этом без Создателя они не могут объяснить, как и откуда он взялся.

Входя в XXI век, мы обязаны помнить, что современное естествознание выросло на трудах гениальных ученых-естествоиспытателей: Ньютона, Кеплера, Фарадея, Максвелла и др., чья вера в Бога подвигала их на изучение Вселенной.

В наше время для некоторых людей по-прежнему основным аргументом в рассуждениях остается другая вера — вера в творческую силу случая. То, что в данном случае речь идет о вере, а не научно обоснованном понимании явлений, известный ученый Л.Х. Мэтьюз в предисловии к книге Дарвина «Происхождение видов» в 1971 г. сформулировал так: «Вера в эволюцию в точности соответствует вере в божественное сотворение мира — обе являются убеждениями, в верности которых верующие не сомневаются, хотя и не могут привести доказательства своей правоты». В этой связи представляется разумным рассматривать обе концепции как принципиально мыслимые и допустимые.

Выдающийся французский математик, физик и философ Блез Паскаль (1623—1662) пояснял риск ошибочного решения при ответе на вопрос о бессмертии человека следующим образом. Существуют две возможности: либо предсказания Библии по поводу жизни после смерти верны, либо они ошибочны. Следовательно, в соответствии с верой или неверием в предсказания Библии можно разделить всех людей на две группы. Если вечной жизни нет, то в проигрыше оказываются те, кто верил в нее. Они живут с неоправданной надеждой на вечный мир, в то время как правыми оказываются неверующие, и они лучше распоряжаются своей жиз-

нию в этом мире. Если же, напротив, предсказания Библии о вечной жизни верны, то вера в нее оказывается поддержкой в самых безнадежных ситуациях и тем самым оказывается полезной уже в течение этой жизни, к чему добавляются неизмеримые преимущества в вечности. Ошибка неверующего ведет при этом к значительно более тяжелым последствиям, чем ошибка верующего. Неверно прожитая в этом мире жизнь ведет к вечным потерям. Библия описывает вечность для обеих групп так: «И многие из спящих в прахе земли пробудятся, одни для жизни вечной, другие — на вечное поругание и посрамление».

«Общежитие, пробуждая или ускоряя действие разума сонного, медленного в людях диких, рассеянных, но большей части уединенных, рождает не только законы и правление, но самую Веру, столь естественную для человека, столь необходимую для гражданских обществ, что мы ни в мире, ни в Истории не находим народа, совершенно лишенного понятия о Божестве», — так оценивал истоки и необходимость для человека религии Н. М. Карамзин.

В современном естественно-научном познании все чаще ученый сталкивается с ситуацией, когда поиск истины оказывается тесно связанным с нравственными проблемами. «Цель науки и главный долг ученого — поиск истины, поэтому православный взгляд на проблемы науки и техники заключается, в частности, в том, чтобы отвергнуть многочисленные попытки поставить науку на службу не истине, не потребностям гармонического устройства жизни, а частным, корыстным интересам, в первую очередь господства и наживы», — так с одной из нравственных позиций Патриарх Московский и всея Руси Алексий II охарактеризовал долг истинного ученого.

Иными словами, основным ориентиром деятельности ученого-естествоиспытателя да и любого другого должны быть те нравственные нормы и принципы, которые вырабатывались и проверялись жизнью в течение веков. Главные же из них — это заповеди, сформулированные еще в древние времена в Нагорной проповеди. Думается, сегодня по-прежнему актуально мудрое напоминание Серафима Саровского о необходимости избегать рассеяния ума, но пробуждать у людей голос совести, сердечное сокрушение и желание перемен к лучшему. Не менее актуальны слова Альберта Эйнштейна (1879—1955): «Наука без религии хрома, а религия без науки слепа». Научные знания не могут уничтожить веру и заменить ее, но и вера не в состоянии заменить науку.

В последнее время, особенно в России и странах бывшего СССР, для науки и религии чрезвычайно важно общее поле для совместной борьбы с магией, колдовством, сектантством, религиозным экстремизмом, которые приводят к разным антигуманным проявлениям, гибели людей и терроризму.

В результате анализа развития различных отраслей современной науки и ее взаимосвязи с религией Президент Российской академии наук академик Ю.С. Осипов в одном из своих выступлений сделал обобщающий вывод: «В настоящее время в отношениях религии и науки набирают силу процессы явного сближения. Если в начале Нового времени, в эпоху Просвещения наука стремилась обрести полную автономию от религии и вытеснить ее с позиций мировоззренческого и духовного центра культуры, то теперь происходит их сближение и взаимодействие в формировании ценностей культуры, ориентированной на человека».

Контрольные вопросы

1. Что является предметом изучения концепций современного естествознания?
2. В чем заключается концептуальный подход в изучении современного естествознания?
3. Какова специфика современных естественно-научных знаний и какова их роль в образовании?
4. Чем обуславливается актуальность современных знаний о природе?
5. Какова роль естествознания в формировании профессиональных знаний?
6. Приведите цифры, характеризующие техногенное влияние на живую природу.
7. Чем обуславливается необходимость пересмотра всей системы знаний о природе?
8. Какова роль фундаментальной базы образования и в чем она состоит?
9. Для чего нужны естественно-научные знания будущим специалистам гуманитарного и социально-экономического профиля?
10. Охарактеризуйте историю преобразований приложения знаний.
11. Какова роль естественно-научных знаний в решении проблем управления?
12. Почему естественно-научные знания принято считать базовым фактором экономики?
13. Чем отличаются фундаментальные проблемы естествознания от прикладных?
14. Для чего нужны фундаментальные исследования?
15. Назовите формальный признак разделения естественно-научных проблем на фундаментальные и прикладные.
16. В чем специфика современных фундаментальных исследований?
17. Каковы механизмы взаимодействия представителей власти с учеными?
18. Какова роль математики в развитии естествознания?
19. В чем заключается математическое описание явлений природы?
20. Каков основной смысл высказывания Канта о роли математики в естествознании?
21. Как характеризовал Пуанкаре гармонию природы, выраженную математическими законами?
22. Какова сущность закономерности развития науки?
23. Приведите цифры, характеризующие развитие отечественной науки, начиная с 1913 г.
24. Может ли долго продолжаться экспоненциальное развитие науки?
25. Чем обуславливаются псевдонаучные тенденции в развитии науки?
26. Какие ошибочные пути в естественно-научном познании приводят к псевдонаучным тенденциям?
27. Дайте характеристику основным направлениям псевдонауки.
28. В чем опасность псевдонаучных проявлений?
29. Какие факторы способствуют развитию псевдонауки?

30. Какова взаимосвязь естествознания и нравственности?
31. Почему евгеника не получила дальнейшего развития?
32. Способствует ли естествознание формированию нравственных норм?
33. Какова роль рационального естественно-научного познания в формировании мировоззрения?
34. Назовите основные факторы, влияющие на мировоззрение.
35. В чем проявляется иррациональная составляющая мировоззрения?
36. Почему религию нельзя сводить только к иррациональному?
37. Каковы основные признаки науки, сформулированные Гегелем?
38. Назовите признаки, общие для научного и религиозного знаний?
39. Чем определяются взаимоотношения естествознания с религией в разные периоды времени?
40. Каковы объективные факторы, определяющие сближение науки и религии в последнее время?

2. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЕ ПОЗНАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

2.1. ПРОЦЕСС ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Общие сведения. В основе естественно-научного познания окружающего мира лежит сложная творческая работа, включающая сочетающиеся сознательные и подсознательные элементы. О важной роли подсознательных элементов говорили многие выдающиеся ученые. В частности, А. Эйнштейн подчеркивал: «Нет ясного логического пути к научной истине, ее надо угадать некоторым интуитивным скачком мышления». Особенности и специфика сознательных и подсознательных элементов придают индивидуальный характер решению разными учеными даже одной и той же естественно-научной проблемы. «И хотя представители различных школ считают свой стиль единственно правильным, разные направления дополняют и стимулируют друг друга; истина же не зависит от того, каким способом к ней приближаться», — так считал советский физик-теоретик академик А. Б. Мигдал (1911—1991).

Несмотря на индивидуальность и специфику решения научных задач, все же можно назвать вполне определенные правила научного познания:

- ничего не принимать за истинное, что не представляется ясным и отчетливым;

- трудные вопросы делить на столько частей, сколько нужно для их разрешения; начинать исследование с самых простых и удобных для познания вещей и восходить постепенно к познанию трудных и сложных;

- останавливаться на всех подробностях, на все обращать внимание, чтобы быть уверенным, что ничего не упущено.

Эти правила впервые сформулировал Рене Декарт, французский философ, математик, физик и физиолог. Они составляют сущность *метода Декарта*, в одинаковой мере применимого как для естественно-научного, так и для гуманитарного познания.

Естественно-научные знания играют важную и определяющую роль в процессе познания. Так, английский физик Дж. К. Максвелл утверждал: «Что касается материальных наук, то они кажутся мне прямой дорогой к любой научной истине... Сумма знаний берет значительную долю своей ценности от идей, полученных путем проведения аналогий с материальными науками...»

Достоверность научных знаний. В процессе развития естествознания всегда возникал и возникает вопрос: в какой мере можно доверять научным результатам, т.е. вопрос о достоверности научных результатов и качестве работы ученого. Приходится констатировать, что научная продукция на своем пути к истине переполнена ошибочными результатами. Вне зависимости от их характера и природы ошибочные результаты не только сдерживают поступательный процесс познания, но и могут в ряде случаев привести к авариям, катастрофам и трагическим последствиям. Например, относительно недавно американский космический аппарат для исследования Марса потерпел аварию. Причина ее в том, что компьютерные программы для управления тормозными двигателями и для расчета траектории составлялись с учетом разных единиц измерения тяги.

Иногда результаты исследований оказываются ошибочными не в том объективном смысле, что некоторые утверждения и представления со временем дополняются, уточняются и уступают место новым и что все естественно-научные экспериментальные результаты сопровождаются вполне определенной абсолютной ошибкой, а в гораздо более простом смысле, когда ошибочные формулы, неверные доказательства, несоответствие фундаментальным законам естествознания и т.п. приводят к неправильным результатам.

Для проверки качества научной продукции проводится ее контроль: экспертиза, рецензирование и оппонирование. Каждый из них направлен на определение достоверности научных результатов. Приведем некоторые цифры, характеризующие эффективность контроля предлагаемых патентуемых материалов. В результате экспертизы 208 975 заявок на изобретения, поданных в Национальный совет изобретений США, выявлено, что всего лишь 8615 (около 4%) из них не противоречило здравому смыслу, а реализовано только 106 (менее 0,05%) заявок. Поистине, как у поэта: «...изводит единого слова ради тысячи тонн словесной руды». До недавнего времени в отечественных академических и центральных отраслевых журналах после рецензирования публиковалась примерно одна из пяти представленных к публикации работ. Добросовестное оппонирование по-

звolyет существенно сократить поток несостоятельных кандидатских и докторских диссертаций.

Вместе с тем следует признать, что экспертиза, рецензирование и оппонирование далеки от совершенства. Можно привести не один пример, когда великие научные идеи отвергались как противоречащие общепринятым взглядам, — это и квантовая гипотеза Макса Планка (1858—1947), и постулаты Нильса Бора (1885—1962) и др. Обобщая свой опыт участия в научной дискуссии и оценивая мнения многих оппонентов, Макс Планк писал: «Великая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения своих противников, редко бывает, что Саул становится Павлом. В действительности дело происходит так, что оппоненты постепенно вымирают, а растущее поколение с самого начала осваивается с новой идеей...» Научной полемики сознательно избегал Чарлз Дарвин. Об этом на склоне своих лет он писал: «Я очень рад, что избегал полемики, этим я обязан Лейелю... [своему учителю] он убедительно советовал мне никогда не ввязываться в полемику, так как от нее не выходит никакого прока, а только тратится время и портится настроение». Однако дискуссию по существу нельзя полностью исключать как средство постижения истины. Вспомним известное изречение: в споре рождается истина.

В науке и, в особенности, в естествознании есть внутренние механизмы самоочищения. Результаты исследований в областях, мало кому интересных, конечно, редко контролируются. Достоверность их не имеет особого значения: они все равно обречены на забвение. Результаты интересные, полезные, нужные и важные волей-неволей всегда проверяются и многократно. Например, «Начала» Ньютона не были его первой книгой, в которой излагалась сущность законов механики. Первой была книга «Мотус», подвергшаяся жесткой критике Роберта Гука. В результате исправлений с учетом замечаний Гука и появился фундаментальный труд «Начала».

Следует признать, что существующие способы контроля научной продукции малоэффективны, и для науки контроль не столь уж важен, может быть, в сущности и не нужен. Он нужен в большей степени обществу, государству, чтобы не тратить деньги на бесполезную работу исследователей. Большое количество ошибок в научной продукции говорит о том, что приближение к научной истине — сложный и трудоемкий процесс, требующий объединения усилий многих ученых в течение длительного времени. Около двадцати веков отделяют законы статики от правильно сформулированных законов динамики. Всего лишь на десятке страниц школьного учебника умещается то, что добывалось в течение двадцати веков. Действительно, истина гораздо дороже жемчуга.

Истина — предмет познания. Часто встречающееся утверждение: главная цель естествознания — установление законов природы, открытие скрытых истин — явно или неявно предполагает, что истина где-то уже существует в готовом виде, ее надо только найти, отыскать как некое сокровище. Великий философ древности Демокрит еще в V в. до н.э. говорил: «Истина скрыта в глубине (лежит на дне морском)». Что же означает открыть естественно-научную истину в современном понимании? Это, во-первых, установить причинно-следственную связь явлений и свойств объектов природы, во-вторых, подтвердить экспериментом, опытом истинность полученных теоретических утверждений и, в-третьих, определить относительность естественно-научной истины.

Одна из задач естествознания — объяснить явления, процессы и свойства объектов природы. Слово «объяснить» в большинстве случаев означает «понять». Что обычно подразумевает человек, говоря, например: «Я понимаю свойство познаваемого объекта». Как правило, это означает: «Я знаю, чем обусловлено данное свойство, в чем его сущность и к чему оно приведет». Так образуется *причинно-следственная связь: причина — объект — следствие*. Количественное описание такой связи служит основой *научной теории*, характеризующейся четкой логической структурой и состоящей из набора принципов или аксиом и теорем со всеми возможными выводами. По такой схеме строится любая математическая теория. При этом, конечно, предполагается создание специального научного языка, терминологии, системы научных понятий, имеющих однозначный смысл и связанных между собой строгими законами логики. Так достигается математическая истина.

Истинный естествоиспытатель не должен ограничиваться теоретическими утверждениями или выдвинутыми гипотезами для объяснения наблюдаемых явлений или свойств. Он должен подтвердить их экспериментом, опытом и связать их с «действительным ходом вещей». Только так можно приблизиться к естественно-научной истине, которая, как теперь понятно, принципиально отличается от математической истины.

После проведения эксперимента, опыта наступает завершающая стадия естественно-научного познания, на которой устанавливаются границы истинности полученных экспериментальных результатов или границы применимости законов, теорий или отдельных научных утверждений. Результат любого эксперимента, как бы он тщательно не проводился, нельзя считать абсолютно точным. Неточность экспериментальных результатов обуславливается двумя факторами: объективным и субъективным. Один из существенных объективных факторов — динамизм окружающего нас мира: вспомним слова Гераклита — «Все течет, все изменяется; в одну и ту же реку нельзя войти дважды». Другой объективный фактор связан с несовершенством технических средств эксперимента.

Эксперимент проводит человек, органы чувств и интеллектуальные способности которого далеки от совершенства: *errare humanum est* — ошибаться свойственно человеку (известное латинское выражение) — это и есть субъективный фактор неточности естественно-научных результатов.

Выдающийся естествоиспытатель академик В. И. Вернадский (1863—1945) с уверенностью утверждал: «В основе естествознания лежат только научные эмпирические факты и научные эмпирические обобщения». Напомним: эмпирический подход основан на эксперименте и опыте как определяющих источниках естественно-научного познания. Вместе с тем он указывал и на ограниченность эмпирических знаний.

Теоретические утверждения без эксперимента носят гипотетический характер. Только при подтверждении экспериментом из них рождается истинная естественно-научная теория. Научная теория и эксперимент, или, в обобщенном представлении, наука и практика — вот два кита, на которых держится ветвистое древо познания. «Влюбленные в практику без науки словно кормчий, ступающий на корабль без руля или компаса; он никогда не уверен, куда плывет... Наука — полководец, а практика — солдат», — так сказал Леонардо да Винчи (1452—1519).

Сформулируем *три основных положения естественно-научного познания*:

- 1) в основе естественно-научного познания лежит причинно-следственная связь;**
- 2) истинность естественно-научных знаний подтверждается экспериментом, опытом;**
- 3) любое естественно-научное знание относительно.**

Эти положения соответствуют трем стадиям естественно-научного познания. На *первой* стадии устанавливается причинно-следственная связь в соответствии с *принципом причинности*. Первое и достаточно полное определение причинности содержится в высказывании Демокрита (р.ок. 470 или 460 г. до н.э.): «Ни одна вещь не возникает беспричинно, но все возникает на каком-нибудь основании и в силу необходимости». В современном понимании *причинность означает связь между отдельными состояниями видов и форм материи в процессе ее движения и развития*. Возникновение любых объектов и систем, а также изменение их свойств во времени имеют свои основания в предшествующих состояниях материи в процессе ее движения и развития; эти основания называются *причинами*, а вызываемые ими изменения — *следствиями*. Причинно-следственная связь — основа не только естественно-научного познания, но и любой другой деятельности человека.

Вторая стадия познания заключается в проведении эксперимента и опыта. Естественно-научная истина — это объективное содержа-

ние результатов эксперимента и опыта. *Критерий естественно-научной истины — эксперимент, опыт.* Эксперимент и опыт — высшая инстанция для естествоиспытателей: их приговор не подлежит пересмотру.

Любые естественно-научные знания (понятия, идеи, концепции, модели, теории, экспериментальные результаты и т. п.) ограничены и относительны. Определение границ соответствия и относительности естественно-научных знаний — это третья стадия естественно-научного познания. Например, установленная *граница соответствия*, называемая иногда *интервалом адекватности*, для классической механики означает, что ее законы описывают движение макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме. Как уже отмечалось, в основе естествознания лежит эксперимент, который в большинстве случаев включает измерения. Подчеркивая важную роль измерений, Д.И. Менделеев (1834—1907) писал: «Наука началась тогда, когда люди научились мерить; точная наука немыслима без меры». Измерений абсолютно точных не бывает, и в этой связи задача ученого-естествоиспытателя заключается в установлении *интервала неточности*. При совершенствовании методов измерений и технических средств эксперимента повышается точность измерений и тем самым сужается интервал неточности и экспериментальные результаты приближаются к абсолютной истине. *Развитие естествознания — это последовательное приближение к абсолютной естественно-научной истине.*

2.2. ФОРМЫ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Единство эмпирического и теоретического познания. Каждый акт познавательного процесса включает в себя в той или иной степени как наглядно-чувственные, эмпирические, так и абстрактные, теоретические элементы. Каждый акт живого созерцания пронизан мыслью, опосредован понятиями, категориями. Воспринимая какой-либо объект, мы сразу же относим его к определенной категории вещей, процессов.

Исторически путь естественно-научного познания окружающего мира начинался с живого созерцания — *чувственного восприятия* фактов на основе практики. От живого созерцания человек переходит к абстрактному мышлению, а от него — снова к практике, в которой он реализует свои мысли, выверяет их истинность. Современный естествоиспытатель, мышление которого аккумулировало в определенной степени человеческий опыт и выработанные человечеством категории и законы, не приступает к исследованию с живого созерцания. Любое естественно-научное исследование нуждается с самого начала в руководящих идеях. Они служат своего рода направляющей силой, без них естествоиспытатель обрекает себя на блуждание в потемках, не может поставить пра-

62

вильно ни одного эксперимента. Вместе с тем теоретическая мысль, даже безупречная по своей логической строгости, не может сама по себе вскрыть закономерности материального мира. Для своего эффективного движения она должна постоянно получать стимулы, толчки, факты из окружающей действительности через наблюдения, эксперименты, т.е. посредством *эмпирического познания*.

Эмпирическое и теоретическое познание — это единый процесс, характерный для любого естественно-научного исследования на любой его стадии.

Чувственные формы познания. Познание действительности осуществляется в разных формах, из которых первой и простейшей является ощущение.

Результат ощущения — простейшие чувственные отражения отдельных свойств предметов.

Например, в апельсине мы ощущаем оранжевую окраску, определенную твердость, специфический запах и т.п. Ощущения возникают под влиянием процессов, исходящих из внешней по отношению к человеку среды и действующих на наши органы чувств. Внешними раздражителями являются звуковые и световые волны, механическое давление, химическое воздействие и т.д.

Любой предмет обладает множеством самых разнообразных свойств. Все эти свойства объединены в одном предмете. И мы воспринимаем и осмысливаем их не порознь, а как единое целое. Следовательно, объективной основой восприятия как целостного образа является единство и вместе с тем множественность различных сторон и свойств в предметах.

Целостный образ, отражающий непосредственно воздействующие на органы чувств предметы, их свойства и отношения, называется восприятием.

Восприятие у человека включает в себя осознание, осмысление предметов, их свойств и отношений, основанное на вовлечении каждый раз вновь получаемого впечатления в систему уже имеющихся знаний.

Жизнь, необходимость ориентировки организма в мире макроскопических целостных вещей и процессов организовала наши органы чувств так, что мы воспринимаем вещи как бы суммарно. Ограниченность, например, зрительного или осязательного восприятия является практически целесообразной. Неспособность руки воспринимать микроструктуру, а глаза — видеть мельчайшие детали дает возможность лучше отражать макроструктуру. Если бы было иначе, то все сливалось бы в сплошное море движущихся частиц, молекул, и мы не увидели бы вещей и их границ. Можно представить, что бы было, если бы мы на все смотрели через мощный микроскоп.

Процессы ощущения и восприятия оставляют после себя «следы» в мозгу, суть которых состоит в способности воспроизводить образы предметов, которые в данный момент не воздействуют на человека.

Способность мозга запечатлевать, сохранять воздействие или сигналы внешней среды и в нужный момент воспроизводить их называется памятью.

Память играет очень важную познавательную роль в жизни человека. Если бы образы, возникнув в мозгу в момент воздействия на него предмета, исчезали сразу же после прекращения этого воздействия, то человек каждый раз воспринимал бы предметы, как совершенно незнакомые. Он не узнавал бы их, а стало быть, и не осознавал. Чтобы осознать что-то, необходима умственная работа сравнения настоящего состояния с предшествующим. Психические явления, сменяющие друг друга и не связанные с предшествующими явлениями, прежде чем закрепиться в памяти, не могут остаться фактом сознания. В результате восприятия внешних воздействий и сохранения их во времени памятью возникают представления.

Представления — это образы тех объектов, которые когда-то воздействовали на органы чувств человека, и при отсутствии объектов восстанавливаются по сохранившимся в мозгу следам.

Ощущения и восприятия — начало возникновения сознательного отражения. Память закрепляет и сохраняет полученную информацию. Представление — психическое явление, в котором сознание впервые отрывается от своего непосредственного источника и начинает существовать как субъективное явление. В нем уже теряется непосредственная чувственная данность объекта сознания. Представление — промежуточная ступень при переходе от ощущения к мысли. В народе говорят: «Око видит далеко, а мысль — еще дальше».

Научный факт. Необходимое условие естественно-научного исследования состоит в установлении фактов. Эмпирическое познание предоставляет науке факты, фиксируя при этом устойчивые связи, закономерности окружающего нас мира. Констатируя тот или иной факт, мы фиксируем существование определенного объекта. При этом, правда, остается обычно еще неизвестным, что он представляет по существу. Простая констатация факта держит наше познание на уровне бытия.

Вопрос о том, существует ли реально тот или иной объект — исключительно важный вопрос научного познания. На вопрос о бытии чего-либо естествоиспытатель обычно отвечает или «да», или «может быть», или «весьма вероятно». Констатация бытия объекта — первая, очень низкая ступень познания. Факты приобретают силу научного основания для построения той или иной теории в том случае, если они не только достоверно устанавливаются, разумно отбираются, но и рассматриваются в их на-

учной связи. Однако постижение действительности невозможно без построения теорий. Даже эмпирическое исследование действительности не может начаться без определенной теоретической направленности. Вот как писал по этому поводу И.П. Павлов (1849—1936): «... во всякий момент требуется известное общее представление о предмете, для того чтобы было на что цеплять факты, для того чтобы было с чем двигаться вперед, для того чтобы было что предполагать для будущих изысканий. Такое предположение является необходимостью в научном деле».

Без теоретического осмысления невозможно целостное восприятие действительности, в рамках которого многообразные факты укладывались бы в некоторую единую систему. Сведение задач науки к сбору фактического материала, по мнению А. Пуанкаре, означало бы полное непонимание истинного характера науки. «Ученый должен организовать факты, — писал он, — наука слагается из фактов, как дом из кирпичей. И одно голое накопление фактов не составляет еще науки, точно так же, как куча камней не составляет дома».

Сущность естественно-научного познания окружающего мира заключается не только в описании и объяснении многообразных фактов и закономерностей, выявленных в процессе эмпирических исследований исходя из установленных законов и принципов, а выражается также и в стремлении естествоиспытателей раскрыть гармонию мироздания.

Наблюдение и эксперимент. Важнейшими методами естественно-научного исследования являются наблюдение и эксперимент.

Наблюдение — преднамеренное, планомерное восприятие, осуществляемое с целью выявить существенные свойства объекта познания.

Наблюдение относится к активной форме деятельности, направленной на определенные объекты и предполагающей формулировку целей и задач. Наблюдение требует специальной подготовки — предварительно ознакомления с материалами, относящимися к объекту будущего наблюдения: с рисунками, фотографиями, описанием предметов и т.п. Важное место в подготовке наблюдения должно занимать уяснение задач наблюдения, требований, которым оно должно удовлетворять, предварительная разработка плана и способов наблюдения.

Эксперимент — метод, или прием, исследования, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в заранее определенные условия.

Метод изменения условий, в которых находится исследуемый объект, — это основной метод эксперимента. Изменение условий позволяет вскрыть причинную зависимость между заданными условиями и характеристиками исследуемого объекта и одновременно обнаружить те новые свойства объекта, которые не проявляются непосредственно в обычных

условиях, проследить характер изменения наблюдаемых свойств в связи с изменением условий. С изменением условий изменяются определенные свойства объекта, а другие свойства при этом не претерпевают существенных изменений, от них мы можем отвлечься. Эксперимент, таким образом, не сводится к простому наблюдению — он активно вмешивается в реальность, изменяет условия протекания процесса.

Технические средства эксперимента. Естественно-научное экспериментальное исследование немыслимо без создания разнообразных технических средств, включающих многочисленные приборы, инструменты и экспериментальные установки. Без экспериментальной техники невозможно было бы развитие естествознания. Прогресс естественно-научного познания существенно зависит от развития используемых наукой технических средств. Благодаря микроскопу, телескопу, рентгеновским аппаратам, радио, телевизору, сейсмографу и т.п. человек значительно расширил свои возможности восприятия.

Первые закономерности в природе были установлены, как известно, в движении небесных тел и были основаны на наблюдениях, осуществляемых невооруженным глазом. Галилей в своих классических опытах с движением тела по наклонной плоскости измерял время по количеству воды, вытекающей через тонкую трубку из большого резервуара, тогда еще не было часов в нашем представлении. Однако давно прошло время, когда естественно-научные исследования могли осуществляться при помощи подручных средств. Галилей прославился в науке не только своими оригинальными исследованиями механических явлений, но и изобретением подзорной трубы. Сегодня астрономия немыслима без разнообразных телескопов, в том числе и радиотелескопов, позволяющих человеку заглянуть в такие дали мироздания, откуда свет доходит до нас в течение сотен миллионов световых лет.

Огромную роль в развитии биологии сыграл микроскоп, открывший человеку многие тайны живого мира. Сегодняшние технические средства дают возможность осуществить эксперимент на молекулярном, атомном и ядерном уровнях. Техника современного эксперимента состоит не только из высокочувствительных приборов, но и из специальных сложных экспериментальных установок. Например, для проникновения в глубь атомного ядра строятся громадные экспериментальные сооружения — синхротроны.

Наукой сегодня активно используются для проведения экспериментов космические корабли, подводные лодки, различного рода научные станции, специальные заповедники. Успехи естествознания тесно связаны с усовершенствованием методов и средств измерения, с усовершенствованием приборов и установок, которые позволяют со все возрастающей гибкостью и утонченностью изменять условия наблюдения и экспери-

мента. За последние десятилетия создана мощная вычислительная техника, которая не только составляет неотъемлемую часть современного экспериментального оборудования, но и включена теснейшим образом в сам процесс мышления.

Мышление. Мышление — высшая ступень познания. Хотя его источник — ощущения и восприятие, но оно выходит за их границы и позволяет формировать знания о таких объектах, свойствах и явлениях, которые недоступны органам чувств. Мышление освобождает людей от необходимости быть непосредственно связанным с изучаемым объектом. Оно дает возможность мысленно оперировать с объектом, ставя его в различные соотношения с другими объектами, сопоставлять вновь приобретаемое знание об объекте с ранее приобретенными. Тем самым открывается путь для относительно самостоятельной теоретической деятельности, лишь косвенно связанной с эмпирическим познанием.

Мышление — целенаправленное, опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей вещей.

Основными формами мышления являются понятия, суждения и умозаключения.

Понятие — это мысль, в которой отражаются общие и существенные свойства объектов и явлений.

Понятия не только отражают общее, но и группируют, классифицируют объекты в соответствии с их различиями. Понятие «дерево» отражает не только общее, то, что свойственно всем деревьям, но и отличие любого дерева от всего другого.

В отличие от ощущений, восприятия и представлений понятия лишены наглядности или чувственности. Содержание понятия зачастую невозможно представить в виде наглядного образа. Человек может представить, например, доброго человека, но он не сможет представить в виде чувственного образа такие понятия, как доброта, зло, красота, закон, скорость света, мысль и т.п. Но все это он может понять.

Понятия возникают и существуют в определенной связи, в виде суждений. Мыслить — значит судить о чем-либо, выявлять определенные связи и отношения между различными сторонами объекта или между объектами.

Суждение — форма мысли, в которой посредством связи понятий утверждается (или отрицается) что-либо о чем-либо.

Например, мысль, выраженная предложением «ядро — составная часть атома», есть суждение, в котором о ядре высказывается мысль, что оно входит в состав атома.

По отношению к действительности суждения оцениваются как истинные или ложные. Например, суждение «Ока — приток Енисея» ложно, так как на самом деле Ока не является притоком Енисея, а суждение «Ока — приток Волги» истинно. Истинность и ложность мыслей проверяется практикой.

К тому или иному суждению человек может прийти путем непосредственного наблюдения какого-либо факта или опосредованным путем — с помощью умозаключения.

Умозаключение — форма рассуждения, в ходе которого из одного или нескольких суждений, называемых предпосылками или посылками, выводится новое суждение (заключение или следствие), логически непосредственно вытекающее из посылок.

Пример: «Если данное тело подвергнуть трению, то оно нагревается; тело подвергли трению, значит, оно нагрелось».

На примере из истории естествознания разясним, что такое теоретическое мышление человека. Известный французский бактериолог Луи Пастер (1822—1895), изучая сибирскую язву, долгое время не мог ответить на вопросы: каким образом домашние животные заражаются этой болезнью на пастбищах? Откуда на поверхности земли появляются бактерии сибирской язвы? Было известно, что люди зарывали трупы павших животных (из-за опасения заразить других животных) глубоко в землю. Проходя однажды по сжатому полю, Пастер заметил, что один участок земли окрашен светлее, чем остальные. Спутник объяснил ему, что именно на этом участке некогда была зарыта павшая от сибирской язвы овца. Внимание Пастера привлек факт, что на этом участке имелось множество ходов дождевых червей и выделенных ими землистых экскрементов. У Пастера возникла мысль, что дождевые черви, выползая из глубины земли и вынося с собой споры сибирской язвы, являются переносчиками этой болезни. Так Пастер косвенным путем, путем мысленного сопоставления своих впечатлений проник в то, что было скрыто от восприятия. Дальнейшие опыты подтвердили правильность его умозаключения.

Приведенный эпизод — типичный пример теоретического мышления. Пастер непосредственно не воспринимал причины заражения домашних животных сибирской язвой. Он узнал об этой причине косвенным путем, через посредство других фактов, т.е. опосредованно. Первый существенный признак мышления и заключается в том, что оно есть процесс опосредованного познания объектов. На основании видимого, слышимого и осязаемого люди проникают в невидимое, неслышимое и

неосозаемое. Именно на таком опосредованном познании основана вся наука.

Объективной основой опосредованного процесса познания выступает наличие опосредованных связей, причинно-следственных отношений, существующих в самой действительности и дающих возможность на основании восприятия следствия сделать вывод о причине, вызвавшей данное следствие, а на основании знания причины предвидеть следствие. Опосредованный характер мышления заключается еще и в том, что человек познает действительность не только в результате своего личного опыта, но и косвенным путем, овладевая исторически накопленным опытом и знаниями всего человечества, которые зафиксированы, например, в памятниках письменности.

Одна из важных задач естественно-научного познания — *обобщение* всего известного об окружающем мире. Эксперимент и наблюдение дают огромное многообразие данных, порой не согласованных между собой и даже противоречивых. Главная задача теоретического мышления — привести полученные данные в стройную систему и создать из них научную картину мира, лишенную логического противоречия.

Исследуя, например, оптические свойства кристаллов винной кислоты, Пастер заметил, что плесневый грибок разрушает некоторые ее кристаллы. Эти наблюдения привели Пастера к смелому обобщению, что и другие изменения веществ, наблюдаемые в природе и известные к тому времени как различные брожения, также вызываются живыми микроорганизмами. Пастер ставит ряд остроумных опытов, которые неопровержимо доказывают, что все виды брожения вызываются микробами.

Важной формой теоретического мышления является гипотеза — предположение, исходящее из ряда фактов и допускающее существование объекта, его свойств, определенных отношений.

Гипотеза — это вид умозаключения, пытающегося проникнуть в сущность еще недостаточно изученной области действительности.

Гипотеза требует проверки и доказательства, после чего она приобретает характер *теории*.

Теория — система обобщенного знания, **объяснения** тех **или иных** сторон **окружающего мира**.

Например, утверждение об атомном строении материи было долгое время гипотезой. Подтвержденная опытом, эта гипотеза превратилась в достоверное знание — теорию атомного строения материи.

Описание, объяснение и предвидение. Эмпирическое познание имеет дело с фактами и их описанием. При теоретическом анализе эмпи-

рического материала логической обработке подвергается вся совокупность эмпирических данных, полученных различными путями и зафиксированных в различных источниках информации. В процессе теоретического мышления познание идет от фактов и их описания к интерпретации, объяснению их. Первым и необходимым условием объяснения фактов является их понимание, т.е. осмысление фактов в системе понятий данной науки. Понять явление — значит выяснить те особенности, благодаря которым оно играет определенную роль в составе целого, раскрыть способ его возникновения.

Эмпирическое познание констатирует, как происходит событие. Теоретическое познание отвечает на вопрос, почему оно происходит именно таким образом. Эмпирическое познание ограничивается описанием, фиксацией результатов наблюдения и эксперимента с помощью соответствующих средств записи информации, таблиц, схем, графиков, количественных показателей и т.п. Описание фиксирует и организует факты, дает их качественную и количественную характеристику, вводит факты в систему выработанных в данной науке понятий, категорий, подготавливает фактический материал для объяснения.

Теоретическое познание — это прежде всего объяснение причины явлений. Это предполагает выяснение внутренних противоречий вещей, предсказание вероятного и необходимого наступления событий и тенденций их развития. Например, предсказание Д. Максвеллом электромагнитных волн, Д.И. Менделеевым (1834—1907) — новых химических элементов. Из релятивистской теории движения электрона, предложенной Полем Дираком (1902—1984), вытекало предвидение существования нового объекта — позитрона. Конечно, речь идет не о единичном объекте, а о множестве одноименных объектов с вполне определенными свойствами. Тот или иной закон может быть предсказан на основании существующей теории. Однако есть и другой, в определенном смысле противоположный путь предвидения закона — вывод его из эмпирических данных. Так рождается эмпирический закон. Теоретически предсказанный закон подтверждается эмпирически, а эмпирический закон, как правило, обосновывается теоретически.

Существуют интуитивные предвидения, для которых основания не представляются явно. Такие предвидения характерны для исследователей — крупных специалистов в своей области, и для них существенную роль играет подсознательная деятельность мозга.

2.3. МЕТОДЫ И ПРИЕМЫ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Понятие методологии и метода. В современном понимании

методология — учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. В частности, методология естествознания — это учение о принципах построения, формах и способах естественно-научного познания.

Метод — это совокупность приемов, или операций, практической или теоретической деятельности.

Метод неразрывно связан с теорией: любая система объективного знания может стать методом. Неразрывная связь метода и теории выражается в методологической роли естественно-научных законов. Например, законы сохранения в естествознании составляют методологический принцип, требующий обязательного их учета при соответствующих теоретических операциях; рефлекторная теория высшей нервной деятельности служит одним из методов исследования поведения животных и человека. Характеризуя роль правильного метода в научном познании, Фрэнсис Бэкон (1561 — 1626) сравнивал его со светильником, освещающим путнику дорогу в темноте. Нельзя рассчитывать на успех в изучении какого-либо вопроса, идя ложным путем. Метод сам по себе не предопределяет полностью успеха в естественно-научном исследовании действительности: важен не только хороший метод, но и мастерство его применения.

Различные методы отраслей естествознания (физики, химии, биологии и т.п.) являются частными по отношению к общему диалектическому методу познания. Каждая отрасль естествознания, имея свой предмет изучения и свои теоретические принципы, применяет свои специальные методы, вытекающие из того или иного понимания сущности ее объекта. Применяемые специальные методы, например, в археологии или географии обычно не выходят за пределы этих наук. В то же время физические и химические методы применяются не только в физике и химии, но и в астрономии, биологии, археологии. Применение метода какой-либо отрасли науки в других ее отраслях возможно потому, что их объекты подчиняются законам этой науки. Например, физические и химические методы применяются в биологии на том основании, что объекты биологического исследования включают в себя в том или ином виде физические и химические формы движения материи.

Сравнение, анализ и синтез. Еще древние мыслители утверждали: сравнение — мать познания. Народ метко выразил это в пословице: «Не узнав горя, не узнаешь и радости». Нельзя узнать, что такое хорошо, не

зная плохого, нельзя понять малого без большого и т.п. Все познается в сравнении.

Чтобы узнать, что представляет собой тот или иной предмет, необходимо прежде всего выяснить, в чем он сходен с другими предметами и чем отличается от них. Например, для определения массы какого-либо тела необходимо сравнить ее с массой другого тела, принятого за эталон, т.е. за образец меры. Такой процесс сравнения осуществляется путем взвешивания на весах.

Сравнение есть установление сходства и различия объектов.

Сравнение лежит в основе многих естественно-научных измерений, составляющих неотъемлемую часть любых экспериментов. Сравнивая объекты между собой, человек получает возможность правильно познать их и тем самым правильно ориентироваться в окружающем мире, целенаправленно воздействовать на него. Будучи необходимым приемом познания, сравнение играет важную роль в практической деятельности человека и в естественно-научном исследовании, когда сравниваются действительно однородные и близкие по своей сущности объекты. Нет смысла сравнивать, как говорят, фунты с аршинами. Сравнение является весьма важным общим приемом познания в различных отраслях естествознания.

Процесс естественно-научного познания совершается так, что мы сначала наблюдаем общую картину изучаемого объекта, при которой частности остаются в тени. При таком наблюдении нельзя познать внутреннюю структуру объекта. Для ее изучения мы должны расчленить изучаемые объекты.

Анализ представляет собой мысленное или реальное разложение объекта на составляющие его части.

Будучи необходимым приемом познания, анализ в то же время является одним из элементов процесса познания.

Невозможно познать сущность объекта, только разлагая его на элементы, из которых он состоит: химик, по словам Гегеля, помещает мясо в свою реторту, подвергает его разнообразным операциям и затем говорит: я нашел, что оно состоит из кислорода, углерода, водорода и т.д. Но эти вещи уже не суть мясо. В каждой отрасли естествознания есть как бы свой предел членения объекта, за которым наблюдается иной мир свойств и закономерностей.

Когда путем анализа частности достаточно изучены, наступает следующая стадия познания:

синтез — объединение в единое целое расчлененных анализом элементов.

Анализ фиксирует в основном то специфическое, что отличает части друг от друга. Синтез вскрывает то общее, что связывает части в единое целое.

Человек разлагает объект на составные части для того, чтобы сначала обнаружить сами части, узнать, из чего состоит целое, а затем рассмотреть его как состоящее из частей, но уже обследованных каждая в отдельности. Анализ и синтез находятся в диалектическом единстве между собой: в каждом своем движении наше мышление столь же аналитично, сколь и синтетично.

Анализ и синтез берут свое начало в практической деятельности человека, в его труде. Человек научился мысленно анализировать и синтезировать лишь на основе практического расчленения, разрубания, размалывания, соединения, составления предметов при изготовлении орудий труда, одежды, жилища и т.п. Лишь постепенно осмысливая то, что происходит с объектом при выполнении практических действий с ним, человек учился мысленно анализировать и синтезировать. Анализ и синтез — основные приемы мышления: процессы разъединения и соединения, разрушения и созидания составляют основу всех процессов материального мира. В мире происходят непрекращающиеся процессы разложения и соединения: тела отталкиваются и притягиваются; химические элементы вступают в связь и разъединяются; в живом организме непрерывно осуществляются процессы ассимиляции и диссимиляции.

Абстрагирование, идеализация и обобщение. Каждый изучаемый объект характеризуется множеством свойств и связан множеством нитей с другими объектами. В процессе естественно-научного познания возникает необходимость сконцентрировать внимание на одной какой-либо стороне или свойстве изучаемого объекта и отвлечься от ряда других его качеств или свойств.

Абстрагирование — мысленное выделение какого-либо предмета, в отвлечении от его связей с другими предметами, какого-либо свойства предмета в отвлечении от других его свойств, какого-либо отношения предметов в отвлечении от самих предметов.

Первоначально абстрагирование выражалось в выделении руками, взором, орудиями труда одних предметов и отвлечении от других. Об этом свидетельствует и происхождение самого слова «абстрактный» — от лат. *abstractio* — удаление, отвлечение. Да и русское слово «отвлеченный» происходит от глагола «*влечить*».

Абстрагирование составляет необходимое условие возникновения и развития любой науки и человеческого познания вообще. Вопрос о том, что в объективной действительности выделяется абстрагирующей работой мышления и от чего мышление отвлекается, в каждом конкретном

случае решается в прямой зависимости от природы изучаемого объекта и тех задач, которые ставятся перед исследователем. Например, в математике многие задачи решаются с помощью уравнений без рассмотрения конкретных объектов, стоящих за ними — люди это или животные, растения или минералы. В этом и состоит великая сила математики, а вместе с тем и ее ограниченность.

Для механики, изучающей перемещение тел в пространстве, безразличны физико-кинетические свойства тел, кроме массы. И. Кеплеру были неважны красноватый цвет Марса или температура Солнца для установления законов обращения планет. Когда Луи де Бройль (1892—1987) искал связь между свойствами электрона как частицы и как волны, он имел право не интересоваться никакими другими характеристиками этой частицы.

Абстрагирование — это движение мысли вглубь предмета, выделение его существенных элементов. Например, чтобы данное свойство объекта рассматривалось как химическое, необходимо отвлечение, абстракция. В самом деле, к химическим свойствам вещества не относится изменение его формы, поэтому химик исследует медь, отвлекаясь от того, что именно из нее изготовлено.

В живой ткани логического мышления абстракции позволяют воспроизвести более глубокую и точную картину мира, чем это можно сделать с помощью восприятия.

Важным приемом естественно-научного познания мира является идеализация как специфический вид абстрагирования.

Идеализация — это мыслительное образование абстрактных объектов, не существующих и не осуществимых в действительности, но для которых имеются прообразы в реальном мире.

Идеализация — это процесс образования понятий, реальные прототипы которых могут быть указаны лишь с той или иной степенью приближения. Примеры идеализированных понятий: «точка», т.е. объект, который не имеет ни длины, ни высоты, ни ширины; «прямая линия», «окружность», «точечный электрический заряд», «идеальный газ», «абсолютно черное тело» и др.

Введение в естественно-научный процесс исследования идеализированных объектов позволяет осуществить построение абстрактных схем реальных процессов, что необходимо для более глубокого проникновения в закономерности их протекания.

Важной задачей любого естественно-научного познания является

обобщение — процесс мысленного перехода от единичного к общему, от менее общего к более общему.

Можно привести множество примеров обобщения: мысленный переход от понятия «треугольник» к понятию «многоугольник», от понятия «механическая форма движения материи» к понятию «форма движения материи», от суждения «этот металл электропроводен» к суждению «все металлы электропроводны», от суждения «механическая форма энергии превращается в тепловую» к суждению «всякая форма энергии превращается в иную форму энергии» и т.п.

Мысленный переход от более общего к менее общему есть процесс ограничения.

Процессы обобщения и ограничения неразрывно связаны между собой. Без обобщения нет теории. Теория создается для применения ее на практике к решению конкретных задач. Например, для измерения объектов, создания технических сооружений всегда необходим переход от более общего к менее общему и единичному, т.е. всегда необходим процесс ограничения.

Абстрактное и конкретное. Процесс естественно-научного познания осуществляется двумя взаимосвязанными путями: путем восхождения от конкретного, данного в восприятии и представлении, к абстракциям и путем восхождения от абстрактного к конкретному. На первом пути наглядное представление «испаряется» до степени абстракции, на втором пути мысль движется снова к конкретному знанию, но уже к богатой совокупности многочисленных определений.

Под абстрактным понимается одностороннее, неполное отражение объекта в сознании. Конкретное же знание есть отражение реальной взаимосвязи элементов объекта в системе целого, рассмотрение его со всех сторон, в развитии, со всеми свойственными ему противоречиями.

Конкретное — результат научного исследования, отражение объективной действительности в системе понятий и категорий, теоретически осмысленное единство многообразного в объекте исследования. Методом теоретического познания объекта как целого является восхождение от абстрактного к конкретному.

Аналогия. В природе самого понимания фактов лежит аналогия, связывающая нити неизвестного с известным. Новое легче осмысливается и понимается через образы и понятия старого, известного.

Аналогией называется вероятное, правдоподобное заключение о сходстве двух предметов в каком-либо признаке на основании установленного их сходства в других признаках.

Заключение оказывается тем более правдоподобным, чем больше сходных признаков у сравниваемых предметов и чем эти признаки существеннее. Несмотря на то что аналогии дают лишь вероятные заключе-

ния, они играют огромную роль в познании, так как ведут к образованию гипотез — научных догадок и предположений, которые в ходе последующего этапа исследований и доказательств могут превратиться в научные теории. Аналогия с тем, что нам известно, помогает понять то, что неизвестно. Аналогия с простым помогает понять более сложное. Так, по аналогии с искусственным отбором лучших пород домашних животных Ч. Дарвин сформулировал принцип естественного отбора в животном и растительном мире. Аналогия с течением жидкости в трубке сыграла важную роль в появлении теории электрического тока. Аналогии с механизмом действия мышц, мозга, органов чувств животных и человека подтолкнули к изобретению многих технических сооружений: экскаваторов, роботов, логических машин и т.д.

Аналогия как метод чаще всего применяется в теории подобия, на которой основано моделирование.

Моделирование. В современной науке и технике все большее распространение получает

метод моделирования, сущность которого заключается в воспроизведении свойств объекта познания на специально устроенном его аналоге — модели.

Если модель имеет с оригиналом одинаковую физическую природу, то мы имеем дело с физическим моделированием. Модель может строиться по принципу математического моделирования, если она имеет иную природу, но ее функционирование описывается системой уравнений, тождественной той, которая описывает изучаемый оригинал.

Моделирование широко применяется потому, что оно позволяет исследовать процессы, характерные для оригинала, в отсутствие самого оригинала и в условиях, не требующих его наличия. Это часто бывает необходимо из-за неудобства исследования самого объекта и по другим соображениям: дороговизна, недоступность, трудность доставки, необозримость его и т.п.

Ценность модели заключается в том, что ее значительно легче изготовить, с ней легче осуществить эксперименты, чем с оригиналом, и т.д.

В последнее время активно разрабатываются электронные моделирующие устройства, в которых с помощью электронных процессов воспроизводится по заданной программе реальный процесс. Принцип моделирования составляет основу кибернетики. Моделирование применяется в расчетах траекторий баллистических ракет, в изучении режима работы машин и целых предприятий, в распределении материальных ресурсов и т.д.

Индукция и дедукция. В качестве метода естественно-научного исследования

индукцию можно определить как процесс вывода общего положения из наблюдения ряда частных единичных фактов.

Обычно различают два основных вида индукции: полную и неполную. Полная индукция — вывод какого-либо общего суждения о всех объектах некоторого множества на основании рассмотрения каждого объекта данного множества. Сфера применения такой индукции ограничена объектами, число которых конечно. На практике чаще применяется форма индукции, которая предполагает вывод обо всех объектах множества на основании познания лишь части объектов. Такие выводы неполной индукции часто носят вероятностный характер. Неполная индукция, основанная на экспериментальных исследованиях и включающая теоретическое обоснование, способна давать достоверное заключение. Она называется научной индукцией. По словам известного французского физика Луи де Бройля, индукция, поскольку она стремится раздвинуть уже существующие границы мысли, является истинным источником действительно научного прогресса. Великие открытия, скачки научной мысли вперед создаются в конечном счете индукцией — рискованным, но важным творческим методом.

Дедукция — это процесс аналитического рассуждения от общего к частному или менее общему.

Началом (посылками) дедукции являются аксиомы, постулаты или просто гипотезы, имеющие характер общих утверждений, а концом — следствия из посылок, теорем. Если посылки дедукции истинны, то истинны и ее следствия. Дедукция — основное средство доказательства. Применение дедукции позволяет вывести из очевидных истин знания, которые уже не могут с непосредственной ясностью постигаться нашим умом, однако представляются в силу самого способа их получения вполне обоснованными и тем самым достоверными. Дедукция, проводящаяся по строгим правилам, не может приводить к заблуждениям.

2.4. НАУЧНОЕ ОТКРЫТИЕ И ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Логика открытия. Логический путь научного и технического творчества, связанного с открытием, чаще всего начинается с возникновения догадки, идеи, гипотезы. Выдвинув идею, сформулировав задачу, ученый ищет ее решение, а затем уточняет его путем расчетов, проверки опытом.

Открытие — установление новых, ранее неизвестных закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познания.

За «спиной» любого открытия скрывается приведший к нему тернистый путь, зачастую извилистый, противоречивый и всегда поучительный. Бытует убеждение, будто открытие — результат случайности, внезапного озарения мысли, вдохновения, таинственной творческой интуиции, подсознательного или даже болезненного состояния психики, способной создавать из обычных впечатлений необычные комбинации, рождать «сумасшедшие» идеи, способные ломать наши обычные представления.

Пути, ведущие к открытию, действительно причудливы. На такие пути иногда наводит случай. Так, например, выдающийся датский ученый Х. Эрстед (1777—1851) однажды показывал студентам опыты с электричеством. Рядом с проводником, входящим в электрическую цепь, оказался компас. Когда цепь замкнулась, магнитная стрелка компаса вдруг отклонилась. Заметив это, любознательный студент попросил ученого объяснить данное явление. В результате повторных опытов и логических рассуждений ученый сделал великое открытие, заключающееся в установлении связи между магнетизмом и электричеством. Это открытие послужило в свою очередь базой для изобретения электромагнита и других открытий.

Подобных примеров много, но они не могут убедить нас в том, что открытия вообще — результат чистого случая. Случаем ведь нужно уметь воспользоваться. Случай помогает тому, кто упорно работает над осуществлением своей идеи, замысла. Мы видим дом, но не замечаем фундамент, на котором он стоит. Фундамент любого открытия и изобретения — это общечеловеческий и личный опыт.

В творческой деятельности ученого нередко случаи, когда творческий акт мысли осознается как готовый, и самому автору представляется так, как будто его вдруг «осенило». За способностью как бы «внезапно» схватывать суть дела и чувствовать полную уверенность правильности идеи, по существу, стоит накопленный опыт, приобретенные ранее знания и упорная работа ищущей мысли. При этом каждое новое открытие или изобретение подготовлено множеством предшествующих побед и заблуждений.

Открытие как разрешение противоречий. Одна из характерных особенностей творческой работы состоит в разрешении противоречий. Любое научное открытие или изобретение представляет собой создание нового, неизбежно связанного с отрицанием старого. В этом заключается диалектика развития мысли. Творческий процесс вполне логичен. Выстраивается логическая цепь операций, в которой одно звено закономерно следует за другим: постановка задачи, предвидение идеального конечного результата, отыскание противоречия, мешающего достижению

цели, открытие причины противоречия и, наконец, разрешение противоречия.

Например, в кораблестроении для обеспечения мореходных качеств корабля необходим оптимальный учет противоположных условий: чтобы корабль был устойчив, необходимо делать его шире, а чтобы он был быстходнее, целесообразно делать его длиннее и уже. Особенно наглядны технические противоречия в самолетостроении: самолет нужно сделать прочным и легким, а требования прочности и легкости противоположны.

История естествознания и техники свидетельствует, что подавляющее большинство изобретений — результат преодоления противоречий. Искушенный естествоиспытатель и опытный изобретатель, как правило, приступая к решению научной или технической проблемы, ясно представляют, в каком направлении идет развитие науки и техники. Открытия зачастую рождаются в ситуации, когда ученого «загоняют» в тупик парадоксальные, неожиданные факты, кажущиеся ошибкой в эксперименте, отклонения от законов. Академик П.Л. Капица (1894—1984), лауреат Нобелевской премии по физике 1978 г., однажды сказал, что для физика интересны не столько сами законы, сколько отклонения от них. И это верно, так как, исследуя отклонения, ученые обычно и открывают новые закономерности. В ситуации обнаруженного парадокса возникает рабочая гипотеза, объясняющая и тем самым устраняющая парадокс. Она проверяется экспериментом.

Сделать открытие — значит правильно установить надлежащее место нового факта в системе теории в целом, а не просто обнаружить его. Когда новые факты вступают в противоречие с существующей теорией, то логика мысли теми или иными путями разрешает это противоречие и при этом всегда в пользу требований новых фактов. Их осмысление ведет к построению новой теории.

Творческое воображение и интуиция. Творческое воображение позволяет по едва заметным или совсем не заметным для простого глаза деталям, единичным фактам улавливать общий смысл новой конструкции и пути, ведущие к ней. Человек, лишенный творческого воображения и руководящей идеи, в обилии фактов может не увидеть ничего особенного, он к ним привык.

Сила творческого воображения позволяет человеку взглянуть на примелькавшие вещи новыми глазами и различить в них черты, доселе никем не замеченные. Английскому инженеру было поручено построить через реку мост, который отличался бы прочностью и в то же время не был дорог. Как-то, прогуливаясь по саду, инженер заметил паутину, протянутую через дорожку. В ту же минуту ему пришла в голову мысль построить висячий мост на железных цепях.

Существенное значение в воспитании творческого воображения играет искусство. И далеко не случаен тот факт, что ряд крупных физиков и математиков считают красоту и развитие чувства красоты эвристическим принципом науки, существенным атрибутом научной интуиции.

Многие ученые утверждают, что, в частности, музыка способствует развитию интуиции, т.е. умению видеть и преобразовывать в своем воображении факты так, что в них прослеживается гармония закономерного. Например, академик П. С. Александров (1896—1982) устраивал вечера с прослушиванием классической музыки, и к каждому прослушанному музыкальному произведению он находил своеобразное, но интересное словесное, соответствующее ему повествование. Известно, что П. Дирак выдвинул идею о существовании позитрона по соображениям чисто эстетическим.

В процессе научного открытия большую роль играет интуиция.

Интуиция — способность постижения истины путем прямого ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств.

Процесс творчества, осмысление данных чувственного восприятия нередко осуществляется в порядке мгновенного обобщения, своего рода мысленного замыкания, непосредственно от исходных данных к результату. Происходит быстрая мобилизация прошлого опыта на постижение сути какого-либо факта. Например, опытный врач без рассуждений, по незначительным симптомам сразу схватит суть болезни, а потом уже обосновывает правильность своего чутья.

На вершину обостренного интуитивного чувства человек обычно поднимается, опираясь на прочный фундамент жизненного опыта, на крылья вдохновения. Многие ученые и художники считают, что самыми плодотворными в их творческом процессе являются моменты приливов вдохновения. После каких-то, может быть, очень долгих и мучительных исканий вдруг наступает удивительное чувство творческого порыва и ясности сознания. В этот момент человек работает быстро и сам чувствует, что делает хорошо, именно так, как нужно, как ему хотелось. Понятие интуиции сближает научное творчество с художественным.

Открытия никогда не появляются на пустом месте. Они возникают в результате заполнения сознания ученого напряженными поисками решения каких-либо творческих задач. Пытаясь воссоздать психологический и логический путь, которым ученый идет к открытию, мы сталкиваемся с его удивительной способностью взглянуть на вещи как бы в первый раз, без груза привычных представлений.

Однажды, идя по улице в сильный дождь, Н.Е. Жуковский (1847—1921), погруженный в размышления, остановился перед ручьем, через который ему нужно было перешагнуть. Вдруг его взгляд упал на

кирпич, лежавший посреди потока воды. Ученый стал внимательно всматриваться в то, как под напором воды изменилось положение кирпича, а вместе с этим изменился и характер огибающей кирпич струи воды... На лице ученого вспыхнула радость открытия: вот оно, искомое решение гидродинамической задачи! Многие люди сотни раз видели кирпич, лежащий в ручье, и проходили мимо непримечательного для них явления. И только глаз ученого с острой наблюдательностью и силой творческого воображения смог увидеть в этом факте важные черты и открыть закономерность явления.

К достижениям всего нового ведут острая наблюдательность, кропотливое изучение фактов и сила творческого воображения. В процессе научного исследования — экспериментального или теоретического — ученый ищет нужное решение проблемы, ведет поиск. Поиск можно вести ощупью, наугад, но можно и целенаправленно. Во всяком творении есть направляющая идея, играющая огромную роль. Это своего рода руководящая сила, без нее ученый неизбежно обрекает себя на блуждание в потемках. Наблюдения, эксперимент, проводимые наобум, без ясно осознанной общей идеи, не могут привести к эффективному результату. «Без идеи в голове, — говорил И.П. Павлов, — вообще не увидишь факта».

Ученый не может знать всех фактов: им нет числа. Значит, из множества фактов должен быть сделан разумный выбор вполне определенных фактов — тех, которые необходимы для понимания сути проблемы. Чтобы не пренебречь какими-либо существенными фактами, нужно заранее знать или интуитивно чувствовать, чего они стоят. Результаты интуитивного постижения нуждаются в логическом доказательстве своей истинности.

Доказательство. Характерная форма научного мышления — доказательство. Истинность или ложность того или иного утверждения, как правило, не обладает прозрачной очевидностью. Только простейшие суждения нуждаются для подтверждения своей истинности лишь в применении чувственного восприятия. Подавляющее большинство утверждений принимается за истинные не на уровне чувственного познания и не отдельно от всех других истин, а на уровне логического мышления, в связи с другими истинами, т.е. путем доказательства.

Во всяком доказательстве имеются: тезис, основания доказательства (аргументы) и способ доказательства.

Тезисом называется положение, истинность или ложность которого выясняется посредством доказательства. Доказательство, посредством которого выясняется ложность, называется опровержением.

Все положения, на которые опирается доказательство и из которых необходимо следует истинность доказываемого тезиса, называются *осно-*

ваниями или *аргументами*. Основания состоят из положений о достоверных фактах, определений, аксиом и ранее доказанных положений.

Аксиомы — положения, не доказываемые в данной науке и играющие в ней роль допускаемых оснований доказываемых истин.

Связь оснований и выводов из них, имеющая результатом необходимое признание истинности доказываемого тезиса, называется *способом доказательства*. Доказательство одного и того же положения науки может быть различным. Связь оснований, ведущая к истинности доказательного тезиса, не единственная. Так как она не дана вместе с самими основаниями, а должна быть установлена, следовательно, доказательство — теоретическая задача. В ряде случаев задача доказательства оказывается настолько сложной, что решение ее требует от ученых огромных усилий на протяжении целых десятилетий или даже столетий. В течение почти двух с половиной тысячелетий оставалось недоказанным существование атома, пока успехи новой экспериментальной и теоретической физики не принесли наконец это доказательство. Гениальная догадка Джордано Бруно (1548—1600) о существовании планет, обращающихся вокруг других звезд, получила доказательное подтверждение только в последние десятилетия.

От примитивных способов доказательства, опирающихся на неточные, приблизительные представления, до современных доказательств, основанных на достоверных фактах, точно определяемых понятиях, на свободных от противоречий и достаточных в своем числе аксиомах, а также на уже строго доказанных ранее положениях, практика доказательства прошла большой путь совершенствования, подняв умственную культуру на уровень современной науки.

2.5. ЭКСПЕРИМЕНТ — ОСНОВА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Практическая направленность эксперимента. Эксперимент является фундаментальной базой естествознания, наиболее эффективным и действенным средством познания. Для современного эксперимента характерны три основные особенности:

- 1) возрастание роли теории при подготовке к эксперименту (все чаще эксперименту предшествует теоретическая работа большой группы ученых);
- 2) сложность технических средств эксперимента, состоящих из многофункциональной электронной аппаратуры, прецизионных механических устройств, высокочувствительных приборов и т.п.;
- 3) масштабность эксперимента (некоторые экспериментальные объекты представляют собой сложнейшие сооружения крупных масштабов,

строительство и эксплуатация которых требуют больших финансовых затрат).

Любой эксперимент базируется на взаимодействии субъекта с исследуемым объектом и часто включает операции наблюдения, приводящие не только к качественным, описательным, но и к количественным результатам, требующим дальнейшей математической обработки. С этой точки зрения, *эксперимент — разновидность практического действия, принимаемого с целью получения знания*. В процессе экспериментального исследования в контролируемых и управляемых условиях изучаются многообразные явления и свойства объектов природы. Основная задача эксперимента заключается в проверке гипотез и выводов теорий, имеющих фундаментальное и прикладное значение. Являясь критерием естественно-научной истины,

эксперимент представляет собой основу научного познания окружающего мира.

Хотя эксперимент и наблюдение относятся к эмпирическим формам естественно-научного познания, между ними есть существенное различие: эксперимент — преобразующая внешний мир деятельность человека, а наблюдению свойственны черты созерцательности и чувственного восприятия исследуемого объекта. В экспериментальной работе при активном воздействии на исследуемый объект искусственно выделяются те или иные его свойства, которые и являются предметом изучения в естественных либо специально созданных условиях.

В процессе естественно-научного эксперимента часто прибегают к физическому моделированию исследуемого объекта и создают для него различные управляемые условия. Для этого наряду с моделирующим объектом изготавливаются специальные установки и устройства: барокамеры, термостаты, магнитные ловушки, ускорители и т.п., — обеспечивающие сверхнизкие и сверхвысокие температуры и давления, вакуум и другие условия. В некоторых случаях моделирование — единственно возможное средство для эксперимента.

Многие экспериментальные исследования направлены не только на достижение естественно-научной истины, но и на отработку технологий производства новых видов разнообразной продукции, что еще раз подчеркивает практическую направленность эксперимента как непосредственного способа обработки и совершенствования любого технологического цикла.

Экспериментальные средства по своему содержанию не однородны, их можно разделить на три основные, функционально отличающиеся системы:

- 1) систему, содержащую исследуемый объект с заданными свойствами;
- 2) систему, обеспечивающую воздействие на исследуемый предмет;
- 3) сложную приборную измерительную систему.

В зависимости от поставленной задачи данные системы играют разную роль. Например, при определении магнитных свойств вещества результаты эксперимента во многом зависят от чувствительности приборов. В то же время при исследовании свойств вещества, не встречающегося в природе в обычных условиях, да еще и при низкой температуре, все системы экспериментальных средств одинаково важны.

Чем сложнее экспериментальная задача, тем острее проблема повышения достоверности полученных результатов. Можно назвать четыре пути решения данной проблемы:

- 1) многократное повторение операций измерений;
- 2) совершенствование технических систем и приборов, повышение их точности, чувствительности и разрешающей способности;
- 3) более строгий учет основных и неосновных факторов, влияющих на исследуемый объект;
- 4) предварительное планирование эксперимента, позволяющее наиболее полно учесть специфику исследуемого объекта и возможности приборного обеспечения.

Чем тщательнее предварительно проанализированы все особенности исследуемого объекта и управляемые внешние условия, чем чувствительнее и точнее приборы, тем достовернее экспериментальные результаты.

В любом естественно-научном эксперименте можно выделить три основных этапа:

- 1) подготовительный;
- 2) сбор экспериментальных данных;
- 3) обработка результатов эксперимента и их анализ.

Подготовительный этап обычно сводится к теоретическому обоснованию эксперимента, его планированию, изготовлению образца или модели исследуемого объекта, конструированию и созданию технической базы, включающей приборное обеспечение. Результаты, полученные на хорошо подготовленной экспериментальной базе, как правило, легче поддаются сложной математической обработке. Анализ результатов эксперимента позволяет оценить тот или иной параметр исследуемого объекта и сопоставить его с известным теоретическим либо экспериментальным значением, полученным другими техническими средствами, что очень важно при определении правильности и степени достоверности окончательных результатов.

Обработка экспериментальных результатов. После сбора первых экспериментальных данных процедура эксперимента продолжается. Во-первых, как правило, единичные результаты нельзя считать окончательным решением поставленной задачи. Во-вторых, такие результаты нуждаются в логической доработке, превращающей их в научный факт, в истинности которого не возникает сомнений. Отдельные экспериментальные данные, полученные на начальной стадии исследования, могут содержать ошибки, связанные с некорректной постановкой эксперимента, неправильными показаниями измерительных приборов, отклонениями в функционировании органов чувств и т. д. Поэтому, как правило, проводится не один эксперимент, а серия экспериментов, в которых уточняются и проверяются результаты измерений, собираются недостающие сведения, проводится их предварительный анализ. Затем полученные экспериментальные данные обрабатываются в рамках математической теории ошибок, позволяющей количественно оценить достоверность окончательных результатов. Сколь бы точными ни были наблюдения и измерения, погрешности неизбежны, и задача естествоиспытателя заключается в том, чтобы приблизить экспериментальные данные к объективным значениям определяемых величин, т. е. уменьшить интервал неточности.

Современная статистическая теория ошибок вооружает экспериментаторов надежными средствами корректировки экспериментальных данных. Статистическая обработка — не только эффективное средство уточнения экспериментальных данных, отсеивания случайных ошибок, но и первый шаг обобщения их в процессе формирования научного факта. Разумеется, статистическая обработка — необходимая, но не достаточная операция при переходе от эмпирических данных к естественно-научному факту.

После уточнения экспериментальных результатов начинается их сравнение и обобщение, которое еще не означает окончательного установления научного факта. Вновь зафиксированное явление или свойство объекта становится научным фактом только после его интерпретации. Таким образом, научный факт, полученный в эксперименте, представляет собой результат обобщения совокупности выводов, основанных на наблюдениях, и измерениях характеристик исследуемого объекта при предсказании их в виде гипотезы.

2.6. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специфика современных экспериментальных и теоретических исследований. На всех этапах эксперимента естествоиспытатель руководствуется в той или иной форме теоретическими знаниями. В последнем

столетии в силу ряда объективных причин основной профессиональной деятельностью некоторых ученых стала исключительно теоретическая работа. Одним из первых ученых, который не проводил никаких экспериментов, был немецкий физик М. Планк.

Произошло, таким образом, деление естествоиспытателей на профессиональных теоретиков и экспериментаторов. Во многих отраслях естествознания возникли экспериментальные и теоретические направления и в соответствии с ними появились специализированные лаборатории. Созданы научные подразделения и даже институты теоретического профиля, например Институт теоретической физики. Такой процесс активизировался во второй половине XX в. В прежние времена не только Ньютон и Гюйгенс, но и такие выдающиеся теоретики, как Максвелл, обычно сами экспериментально проверяли свои теоретические выводы и утверждения. В последние же десятилетия только в исключительных случаях теоретик проводит экспериментальную работу, чтобы подтвердить свои теоретические выводы.

Одна из объективных причин профессиональной обособленности экспериментаторов и теоретиков заключается в том, что современные технические средства довольно сложны. Экспериментальная работа требует концентрации больших усилий — она не под силу одному ученому и выполняется в большинстве случаев целым коллективом научных работников. Например, в проведении эксперимента с применением ускорителя, реактора и т. п. принимает участие относительно большая группа исследователей. В подобных случаях даже при большом желании теоретик не в состоянии проверить на практике свои теоретические результаты.

Еще в 60-е годы XX в., когда практически все отрасли естествознания находились на подъеме, академик П.Л. Капица с тревогой говорил о разрыве между теорией и экспериментом, между теорией и практикой, отмечая отрыв теоретической науки от жизни, с одной стороны, а с другой — недостаточно высокое качество экспериментальных работ, что нарушает естественное гармоническое развитие естествознания, возможное только при условии, что теория опирается на современную экспериментальную базу, включающую всевозможное оборудование, большой набор высокочувствительных приборов, специальных материалов и т.п. Темпы развития естествознания определяются в основном степенью совершенства такой базы.

Отрыв теории от эксперимента, практики наносит громадный ущерб прежде всего самой теории и, следовательно, науке в целом. Он характерен не только для естествознания, но и для философии, связанной с проблемами естествознания. Ярким примером может служить отношение не-

которых «философов» к кибернетике в конце 40-х — начале 50-х годов XX в., когда в отечественных философских словарях кибернетика называлась реакционной лженаукой. Если бы ученые руководствовались таким определением, то вряд ли бы стало возможным освоение космоса и создание современных наукоемких технологий, поскольку все сложные многофункциональные процессы вне зависимости от их области применения управляются кибернетическими системами.

Работа крупных ученых-естествоиспытателей, внесших большой вклад в развитие современного естествознания, несомненно проходила в тесной взаимосвязи теории и эксперимента. Поэтому для развития естествознания на здоровой почве всякое теоретическое обобщение должно непременно проверяться экспериментом. Только гармоничное развитие эксперимента и теории способно поднять на качественно новый уровень все отрасли естествознания.

Современные методы и технические средства эксперимента. Экспериментальные методы и технические средства современных естественно-научных исследований достигли высокой степени совершенства. Многие из них основаны на физических принципах. Однако их практическое применение выходит далеко за рамки физики: они широко применяются в химии, биологии и многих смежных естественно-научных отраслях. С появлением лазерной техники, компьютеров, спектрометров открылась возможность экспериментального исследования неизвестных ранее явлений природы, свойств материальных объектов, быстротекающих физических, химических и биологических процессов.

Лазерная техника. Для экспериментального изучения многих естественных процессов весьма важны три направления развития лазерной техники:

- 1) разработка лазеров с перестраиваемой длиной волны излучения;
- 2) создание ультрафиолетовых лазеров;
- 3) сокращение длительности импульса лазерного излучения до аттосекунд ($1 \text{ ас} = 10^{-18} \text{ с}$).

Чем шире спектр излучения лазера, тем он ценнее. Современные лазеры с перестраиваемой длиной волны охватывают спектр — от ближней ультрафиолетовой области до инфракрасной, включая видимый диапазон. Разработаны лазеры, длина волны излучения которых составляет менее 300 нм, т.е. соответствует ультрафиолетовой области. К ним относится, например, криптон-фторидный лазер.

Минимальная длительность импульсов современных лазеров равна фемтосекундам ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$). Разрабатываются лазеры с длительностью импульсов излучения, приближающейся к аттосекундам. Такие лазеры,

несомненно, позволят расшифровать механизм физических, химических и биологических процессов, протекающих с чрезвычайно высокой скоростью.

Сравнительно недавно — в конце 80-х годов XX в. — сотрудник Калифорнийского технологического института, американец египетского происхождения Ахмед Зивэйл исследовал сверхбыструю реакцию распада молекул цианида иода, инициируемую импульсами лазерного излучения фемтосекундной длительности. За эту работу он удостоен Нобелевской премии по химии 1999 г.

Трудно перечислить все области применения лазеров для исследования многообразных химических процессов. Назовем лишь некоторые из них: в фотохимии лазер помогает изучить процесс фотосинтеза и тем самым найти способ более эффективного использования солнечной энергии; в химической кинетике при анализе различных процессов длительностью 10^{-12} — 10^{-18} с с помощью лазеров разделяются изотопы, например, производится очистка изотопов урана и плутония; лазерные приборы служат анализаторами химического состава воздуха; в биологии они позволяют исследовать живые организмы на клеточном уровне и т.д.

Возможности естественно-научных исследований расширяют лазеры на свободных электронах. Принцип их действия основан на том, что в пучке электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света, в периодически изменяющемся магнитном поле в направлении движения электронов возникает излучение света. Для них характерна важная отличительная особенность — перестройка длины волны при большой мощности в широком диапазоне излучения.

Синхротронные источники излучения. Синхротроны применяются не только в физике высоких энергий для исследования механизма взаимодействия элементарных частиц, но и для генерации мощного синхротронного излучения с перестраиваемой длиной волны в коротковолновой ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра. С помощью синхротронного излучения можно исследовать структуру твердого тела, определить расстояние между атомами, изучить строение молекул органических соединений и т.п.

Методы расшифровки сложных структур. Для идентификации, анализа и синтеза сложных химических соединений необходимо определить состав и структуру их молекул. Современные экспериментальные методы ядерного магнитного резонанса, оптической спектроскопии, масс-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, нейтронографии и т.п. позволяют исследовать состав и структуру необычайно сложных молекул органических и неорганических веществ.

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) основан на анализе взаимодействия магнитного момента атомных ядер с внешним магнитным полем. Он применяется в разных отраслях естествознания и, в особенности, в химии синтеза полимеров, и т.п. С помощью метода ЯМР можно определить, например, структуру сегментов ДНК. Основанный на ЯМР современный томограф позволяет наблюдать картину распределения химических неоднородностей таких крупных объектов, как организм человека, что весьма важно при диагностике ряда заболеваний, в том числе и злокачественных опухолей.

Оптическая спектроскопия обеспечивает анализ спектра излучения вещества в различных агрегатных состояниях. Спектральный анализ — это физический метод качественного и количественного определения состава вещества по его оптическому спектру излучения. В качественном спектральном анализе для интерпретации спектра используются таблицы и атласы, составленные для различных химических элементов и соединений. Состав исследуемого вещества при количественном спектральном анализе оценивается по относительной или абсолютной интенсивности линий или полос спектра. С применением лазерного источника излучения и персонального компьютера возможности оптического спектрометра значительно расширяются: такой спектрометр способен обнаружить отдельную молекулу или атом любого вещества. Лазерный спектроскопический метод позволяет регистрировать, например, загрязнение воздуха на расстоянии около двух километров.

Масс-спектрометрия основана на превращении исследуемого вещества в ионизированный газ, ионы которого ускоряются электрическим полем. Масса частиц определяется по радиусу кривизны их траектории и времени пролета. Масс-спектрометрия отличается высокой чувствительностью. С ее помощью можно обнаружить, например, три атома изотопа ^{14}C среди 10^{16} атомов ^{12}C . Они широко применяются для исследования структуры химических соединений, определения изотопного состава и строения молекул в разных областях: в производстве интегральных схем, металлургии, нефтяной, фармацевтической, атомной промышленности и т.п. Для идентификации методом масс-спектрометрии достаточно всего 10^{-10} г вещества. Так, в плазме крови масс-спектрометр регистрирует активное вещество марихуаны с концентрацией 0,1 мг на килограмм массы тела человека. В сочетании с газовым хроматографом возможности масс-спектрометрии существенно расширились.

Рентгеноструктурный анализ, основанный на дифракции рентгеновских лучей, позволяет определить довольно сложные молекулярные

структуры неорганических и органических веществ, что способствует синтезу, например, искусственных ферментов, гормонов роста и т.д.

Нейтронोगрафия обладает очень высокой разрешающей способностью. Она основана на дифракции пучка нейтронов, формирующихся в ядерных установках, что несколько ограничивает ее применение. Отличительная особенность нейтронोगрафии — высокая точность определения расстояния между атомами. Она применяется при определении структуры молекул сверхпроводников, живых организмов и т.п.

2.7. ВАЖНЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

В последние десятилетия благодаря развитию технических средств эксперимента достигнуты значительные успехи в естествознании. Невозможно перечислить все естественно-научные достижения, но можно назвать важнейшие из них: высокотемпературная сверхпроводимость, химические лазеры, молекулярные пучки, атомный лазер, нанотехнология, расшифровка генома человека и т.п., — большинство которых отмечено Нобелевскими премиями.

Высокотемпературная сверхпроводимость. В 1911 г. нидерландский ученый Х. Камерлинг-Оннес (1853—1926), исследуя электрическое сопротивление металлов, обнаружил, что при охлаждении ртути до температуры жидкого гелия (4,2 К) ее электрическое сопротивление скачком уменьшается до нуля, т.е. ртуть переходит в сверхпроводящее состояние. С течением времени по мере синтеза новых материалов температура перехода в сверхпроводящее состояние (критическая температура) неуклонно повышалась: в 1941 г. она достигла около 15 К, а в 1973 г. — примерно 23 К.

С 1986 г. начинается новый этап исследования сверхпроводимости, положивший начало высокотемпературной сверхпроводимости, т.е. сверхпроводимости при относительно высокой температуре. Для четырехкомпонентного керамического вещества на основе оксидов меди была достигнута критическая температура 37 К. Затем последовательно через сравнительно короткие промежутки времени она увеличилась до 40, 52, 70, 92 и даже выше 100 К. В 1993 г. обнаружены сверхпроводящие свойства ртутьсодержащего металлооксидного вещества при температуре около 170 К, которая достигается при охлаждении не только жидким азотом, но и более дешевым — жидким ксеноном. Совсем недавно, в мае 2000 г., сообщалось, что даже такой широко распространенный материал,

как алюминий, способен приобретать сверхпроводящие свойства, однако не при охлаждении, а при нагревании.

Применение сверхпроводников позволит существенно сократить рассеяние энергии в различного рода электрических цепях и особенно при электропередаче, потери в которой в настоящее время составляют около 20%.

Химические лазеры. Сравнительно недавно установлено, что в результате реакции атомарного водорода с молекулярным хлором образуется хлороводород и атомарный хлор. При этом излучается инфракрасный свет. Анализ спектра излучения показал, что существенная часть энергии (около 40%) обуславливается колебательным движением молекул хлороводорода. Исследования такого излучения привели к созданию первого *химического лазера* — устройства, преобразующего энергию реакции водорода с хлором в когерентное излучение. Химические лазеры отличаются от обычных тем, что превращают в когерентное излучение не энергию электрического источника, а энергию химической реакции. Созданы десятки химических лазеров, в том числе и достаточно мощные для инициирования термоядерного синтеза (иодный лазер) и для военных целей (водородно-фторидный лазер). Мощные химические лазеры позволяют разрабатывать специализированные технологические системы. Благодаря энергетической автономии и большой удельной энергии химические лазеры найдут применение при освоении новых технологий в космосе.

Атомный лазер. Одним из важнейших последних достижений естествознания является создание в 1997 г. атомного лазера, способного излучать не свет, а пучок атомов. Пучок атомов обладает необычным свойством — когерентностью, присущей волнам, т.е. он похож на лазерное излучение.

На первой стадии формирования когерентного атомного пучка производился захват атомов натрия магнитной ловушкой. Захваченные атомы подвергались охлаждению, при котором эквивалентные им длины волн увеличиваются. Когда температура приближается к абсолютному нулю, длины волн становятся настолько большими, что они начинают перекрываться и вся группа атомов представляет собой единое целое. Такой конденсат атомов, подчиняющийся статике Бозе—Эйнштейна, был получен в 1995 г. в Американском национальном институте стандартов и технологии университета штата Колорадо. При этом применялся метод лазерного охлаждения и удержания атомов, за разработку которого американские ученые Стивен Чу и Уильям Филипп, а также французский физик Клод Коэн -Таннуджи удостоены Нобелевской премии 1997 г. в области физики. Следует отметить, что идея лазерного охлаждения атомов и принци-

пиальная схема экспериментальной установки для его осуществления были предложены в Институте спектроскопии Российской академии наук группой ученых под руководством В. Летохова, результаты исследований которых опубликованы еще в 1986 г.

В сложной лазерной ловушке, основанной на комбинации нескольких эффектов, удалось охладить атомы гелия до 0,0002 К. С применением сильного охлаждения можно удерживать антиматерию, изучать взаимодействие атомов, производить сверхточные спектральные измерения, исследовать на молекулярном уровне свойства молекул ДНК и т.п. Полученный в лазерных ловушках конденсат является рабочей средой для атомного лазера, открывающего новое весьма перспективное направление в современном естествознании.

Молекулярные пучки. Молекулярный пучок представляет собой струю молекул при испарении вещества в специальной печи и пропускании его через узкое сопло, формирующее пучок в камере со сверхвысоким вакуумом, исключающим межмолекулярные столкновения. При направлении молекулярного пучка на реагент — соединение, вступающее в реакцию, — при сравнительно низком давлении (10^{-10} атм) возрастает вероятность участия каждой молекулы только в одном столкновении, приводящем к реакции. Для проведения такого сложного эксперимента требуется камера со сверхвысоким вакуумом, источник молекулярных пучков, высокочувствительный масс-спектрометр и электронные определители времени свободного пробега молекул. С помощью молекулярных пучков удалось определить, например, ключевые реакции при горении этилена.

Технология атомных размеров. Современная наноэлектроника основана на технологии с атомным разрешением, включающей молекулярную эпитаксию, нанолитографию и зондовую микроскопию. Молекулярная эпитаксия позволяет получить моноатомные слои вещества, толщина которых сравнима с размером атома. Разрешение электронно-лучевой нанолитографии достигает 1—10 нм. Методы современной зондовой микроскопии обеспечивают наблюдение с атомным разрешением. Атомные зонды, кроме того, можно использовать для перемещения отдельных атомов, локального окисления и травления, а также для исследования свойств атомных частиц. Все это вместе взятое составляет техническую базу для создания современных наноэлектронных устройств.

Геном человека. Летом 2000 г. средства массовой информации сообщали: американские ученые успешно завершили подготовку полного текста генома человека, т.е. всей совокупности его генов, состоящей примерно из 3 млрд. «букв» — пар нуклеотидов. К настоящему времени со-

ставлен черновой вариант «текста», в котором не исключены ошибки и некоторые свободные места. Такая огромная работа завершена в 2000 г., через 100 лет после открытия Г. Менделем (1822—1884) фундаментальных законов наследственности. Предполагается, что к 2003 г. будет опубликован окончательный текст генома человека, допускающий не более одной ошибки на 10 тыс. пар нуклеотидов. Этот год также юбилейный — исполнится 50 лет открытию Уотсоном и Криком двойной спирали ДНК.

Текст генома человека составляется очень быстрыми темпами. В нем принимают участие многие ученые государственных и частных фирм разных стран. Например, только одна американская фирма «Celera» расшифровывает не менее 10 млн. нуклеотидных пар в сутки. Информация о геноме человека открыта и доступна для ученых всего мира. По международному соглашению в данной работе нет приоритета конкретных авторов — результаты принадлежат всему человечеству. Это — уникальный пример сотрудничества ученых для достижения действительно эпохальной цели.

Расшифровка ДНК, создание генетической карты человека — первая задача ученых, работающих по проекту генома человека. Вторая — разбить такую карту на отдельные характерные группы. И наконец, функциональный анализ генома — третья весьма важная задача. Нужно определить, например, как работают те или иные гены в клетках организма в разные периоды его жизни.

Наиболее важный практический результат исследований генома человека — это молекулярная медицина, т.е. генная диагностика болезней, их профилактика и генотерапия. Предполагается, что новые лекарственные препараты будут действовать на генные и белковые мишени, что будет способствовать повышению их эффективности.

Каждый человек обладает уникальным геномом: мы отличаемся друг от друга приблизительно одной позицией нуклеотидов из тысячи. Изучение генного разнообразия может дать ключ к пониманию уникальности личности, роли наследственности в интеллектуальных способностях и чертах характера. В обозримом будущем станет возможным создание генетического паспорта каждого человека.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность метода Декарта научного познания?
2. Как определяется достоверность научных знаний?
3. Что составляет основу научной теории?
4. Какова роль эксперимента и опыта в постижении естественно-научной истины?
5. Чем обуславливается неточность экспериментальных результатов?

6. Назовите основные положения теории естественно-научного познания.
7. Охарактеризуйте три стадии естественно-научного познания истины.
8. Что означает относительность естественно-научных знаний?
9. В чем заключается единство эмпирического и теоретического знаний?
10. Какова роль ощущений и представлений в процессе познания?
11. Как устанавливается научный факт?
12. Что такое эксперимент? Чем отличается эксперимент от наблюдения?
13. Каковы особенности современных технических средств эксперимента?
14. Назовите основные формы мышления.
15. На чем основывается научное предвидение?
16. В чем заключается методология естествознания?
17. Дайте краткую характеристику методов и приемов естественно-научных исследований.
18. Что такое научное открытие?
19. Какова роль творческого воображения в научном поиске?
20. Как строится научное доказательство?
21. Назовите основные аргументы, определяющие практическую направленность эксперимента.
22. Из каких этапов состоит эксперимент?
23. Как повысить точность экспериментальных измерений?
24. Какие операции включает обработка экспериментальных результатов?
25. В чем заключается специфика современных экспериментальных и теоретических исследований?
26. Назовите причины оторванности теории от эксперимента.
27. В каких трех направлениях, важных для эксперимента, развивается лазерная техника?
28. Для чего применяется синхротронное излучение?
29. Какие процессы и свойства исследуются методом ядерного магнитного резонанса?
30. Дайте краткую характеристику возможностей оптической и масс-спектропии.
31. Что можно определить методами рентгеноструктурного анализа и нейтронографии?
32. В каких материалах и когда обнаружена высокотемпературная сверхпроводимость?
33. В чем специфика и преимущества химического лазера?
34. Каковы особенности атомного лазера?
35. Для чего применяются молекулярные пучки?
36. На чем основана технология атомных размеров?
37. Каковы результаты и перспективы исследований генома человека?
38. Назовите важнейшие последние достижения современного естествознания.

Изучать что-либо и не задумываться
над выученным — абсолютно бесполезно.
Задумываться над чем-либо, не изучив
предмет раздумий, — опасно.

Конфуций

ЧАСТЬ

II

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ И КОНЦЕПЦИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



Фундаментальные
принципы и законы

✱

Атомный и нуклонный
уровни
строения материи

✱

3. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАКОНЫ

3.1. ФИЗИКА — ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Физика — основа естественных наук. Огромное ветвистое древо естествознания медленно произрастало из *натурфилософии* — философии природы, представляющей собой умозрительное истолкование природных явлений и процессов. Натурфилософия зарождалась в VI — V вв. до н.э. в Древней Греции в ионийской школе и была, по существу, первой исторической формой философии, которая носила стихийно-материалистический характер. Ее основоположники — крупные мыслители древности: Фалес, Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит Эфесский, Диоген Аполлонийский и др. — руководствовались идеями о единстве сущего, происхождении всех вещей из некоторого первоначала (воды, воздуха, огня) и о всеобщей одушевленности материи. Интерес к природе как объекту познания вызвал новый расцвет натурфилософии в эпоху Возрождения, который связан с именами известных мыслителей — Дж. Бруно, Б. Телезио, Т. Кампанеллы и др. Позднее натурфилософские взгляды на окружающий мир, основанные на объективно-идеалистической диалектике природы как живого организма, развивались немецким философом Ф. Шеллингом (1775—1854) и его последователями.

Наряду с умозрительными и в определенной степени фантастическими представлениями натурфилософия содержала глубокие идеи диалектической трактовки природных явлений. Поступательное развитие экспериментального естествознания привело к постепенному перерастанию натурфилософии в естественно-научные знания. Таким образом, в недрах натурфилософии зарождалась

физика — наука о природе, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства материального мира.

Физика составляет основу естествознания. В соответствии с многообразием исследуемых форм материи и ее движения она подразделяется на

физику элементарных частиц, ядерную физику, физику плазмы и т.д. На ее стыке с другими естественными науками возникли биофизика, астрофизика, геофизика, физическая химия и др.

Слово «физика» появилось еще в древние времена и в переводе с греческого означает «природа». Натурфилософское сочинение древнегреческого философа Аристотеля (384—322 гг. до н. э.), ученика Платона, так и называется «Физика». Аристотель писал: «Наука о природе изучает преимущественно тела и величины, их свойства и виды движений, а кроме того, начала такого рода бытия».

«Высшая задача физики состоит в открытии наиболее общих элементарных законов, из которых можно было бы логически вывести картину мира», — так считал Эйнштейн. Одна из главных задач физики — выявление самого простого и самого общего в природе. Под самым простым обычно принято понимать первичные объекты: молекулы, атомы, элементарные частицы, поля, а под самым общим — движение, пространство и время, энергию и т.п. Физика изучает разнообразные явления и объекты природы, и при этом сложное сводится к простому, конкретное — к общему. Так устанавливаются универсальные законы, справедливость которых подтверждается не только в земных условиях и в околоземном пространстве, но и во всей Вселенной. В этом заключается один из существенных признаков физики как фундаментальной науки. Физика занимает особое место среди естественных наук, и ее принято считать лидером естествознания.

К настоящему времени известно множество естественных наук, отражающих различные свойства объектов природы. Их классификация и иерархия всегда интересовали ученых. Одну из первых классификаций провел в начале XIX в. выдающийся французский физик Андре Ампер (1775—1836). Уже тогда общее число естественных наук насчитывалось более 200. Естественно-научные знания он представил в виде единой системы, состоящей из различных по характеру идей и экспериментальных сведений. В такой системе физика располагалась на первом уровне как наука наиболее фундаментальная, химия — на втором, как бы основывающаяся на физике, и т.д.

Позднее — в середине XIX в., — изучая историю развития естествознания, немецкий химик Ф. Кекуле (1829—1896) предложил свою иерархию естественных наук в форме четырех последовательных ступеней: механика, физика, химия, биология. В ней рассматривались молекулярная физика и термодинамика как механика молекул, химия — как физика атомов, а биология — как химия белков или белковых систем.

Вопросы иерархии, классификации и взаимосвязи естественных наук обсуждаются и по сей день. При этом рассматриваются разные точки зрения. Например, одна из них — все химические явления, строение вещества и его превращение можно объяснить на основании физических зна-

ний — ничего специфического в химии нет. Другая точка зрения — каждый вид материи и каждая форма материальной организации (физическая, химическая, биологическая) настолько специфичны и обособлены, что между ними нет прямых связей. Конечно, такие полярные точки зрения далеки от истины. Вполне очевидно одно — несмотря на то, что физика — фундаментальная отрасль естествознания, каждая из естественных наук при одной и той же общей задаче изучения природы имеет свой объект исследования и базируется на своих законах, не сводимых к законам других отраслей науки. Сочетание всесторонних знаний, накопленных в течение длительного времени в отдельных отраслях естествознания, способствует дальнейшему его развитию.

Возвращаясь к мысли, изложенной в начале этого параграфа, можно сказать: натурфилософия породила физику. Однако так же определенно можно утверждать и другое: физика выросла из потребностей техники (например, развитие механики у древних греков было вызвано запросами строительной и военной техники того времени). Техника, в свою очередь, определяет направление физических исследований (так, задача создания наиболее экономичных тепловых двигателей стимулировала бурное развитие термодинамики). С другой стороны, от развития физики зависит технический уровень производства. Физика — основная база для создания наукоемких технологий и новых технических средств производства.

Физика тесно связана и с философией. Такие крупные открытия в области физики, как закон сохранения и превращения энергии, второе начало термодинамики, соотношение неопределенностей и др., являлись и являются ареной острой борьбы между сторонниками разных философских течений. Научные открытия служат реальной почвой для многих философских мыслей. Изучение открытий и их философское, концептуальное обобщение играют большую роль в формировании естественно-научного мировоззрения.

Основные этапы развития физики. Всю историю развития физики можно условно разделить на три основных этапа:

- 1) доклассической физики;
- 2) классической физики;
- 3) современной физики.

Первый этап развития физики — этап *доклассической физики* — иногда называют донаучным. Однако такое название нельзя считать обоснованным: фундаментальные зерна физики и естествознания в целом были посеяны еще в глубокой древности. Этот этап — самый длительный: он охватывает период от времени Аристотеля (IV в. до н.э.) до конца XVI в.

Начало второго этапа — *этапа классической физики* — связывают с работами итальянского ученого Галилео Галилея, одного из основателей точного естествознания, и трудами английского математика, механика,

астронома и физика Исаака Ньютона, основоположника классической физики. Второй этап длился около трех веков до конца XIX в.

К началу XX в. получены экспериментальные результаты, трудно объяснимые в рамках классических знаний. Поэтому был предложен совершенно новый подход — квантовый, основанный на дискретной концепции. Квантовую гипотезу впервые ввел в 1900 г. немецкий физик Макс Планк, вошедший в историю развития физики как один из основоположников квантовой теории. С введением квантовой концепции начинается третий этап развития физики — *этап современной физики*, включающий не только квантовые, но и классические представления.

Этап доклассической физики открывает геоцентрическая система мировых сфер Аристотеля, которая родилась на подготовленной его предшественниками идейной почве. Переход от эгоцентризма — отношения к миру, характеризующегося сосредоточенностью на своем индивидуальном «я», к геоцентризму — первый и, пожалуй, самый трудный шаг на пути зарождения ростков естествознания. Непосредственно видимая полусфера неба, ограниченная местным горизонтом, дополнялась аналогичной невидимой полусферой до полной небесной сферы. Мир стал более завершенным, но оставался ограниченным небесной сферой. Соответственно, и сама Земля, противопоставленная остальной (небесной) сферической Вселенной как постоянно занимающая в ней особое, центральное положение и абсолютно неподвижная, стала считаться сферической. Пришлось признать не только возможность существования антиподов — обитателей диаметрально противоположных частей земного шара, но и принципиальную равноправность всех земных обитателей мира. Такие представления, носившие в основном умозрительный характер, подтвердились гораздо позднее — в эпоху первых кругосветных путешествий и великих географических открытий, т. е. на рубеже XV и XVI вв., когда само геоцентрическое учение Аристотеля с канонической системой идеальных равномерно вращающихся небесных сфер, сочлененных друг с другом своими осями вращения, с принципиально различной физикой или механикой для земных и небесных тел, доживало свои последние годы.

Почти полторы тысячи лет отделяет завершенную геоцентрическую систему греческого астронома Клавдия Птолемея (ок. 90 — 160) от достаточно совершенной гелиоцентрической системы польского математика и астронома Николая Коперника. В центре гелиоцентрической системы находится не Земля, а Солнце. Вершина гелиоцентрической системы — законы движения планет, открытые немецким астрономом Иоганном Кеплером, одним из творцов естествознания Нового времени.

Астрономические открытия Галилео Галилея, его физические эксперименты и фундаментальные законы механики, сформулированные Исааком Ньютоном, положили начало этапу *классической физики*, который нельзя отделить четкой границей от первого этапа. Для физики и ес-

тествознания в целом характерно поступательное развитие: законы Кеплера — венец гелиоцентрической системы с весьма длительной, начавшейся еще в древние времена историей; законам Ньютона предшествовали законы Кеплера и труды Галилея; Кеплер открыл законы движения планет в итоге логически и исторически естественного перехода от геоцентризма к гелиоцентризму, но не без эвристических идей аристотелевской механики. Механика Аристотеля разделялась на земную и небесную, т.е. не обладала надлежащим принципиальным единством: аристотелевское взаимное противопоставление Земли и Неба сопровождалось принципиальной противоположностью относящихся к ним законов механики, которая тем самым оказалась в целом внутренне противоречивой, несовершенной. Галилей опроверг аристотелевское противопоставление Земли и Неба. Он предложил представление Аристотеля об инерции, характеризующее равномерное движение небесных тел вокруг Земли, применять для земных тел при их свободном движении в горизонтальном направлении.

Кеплер и Галилей пришли к своим кинематическим законам, предопределившим принципиально единую для земных и небесных тел механику Ньютона. Законы Кеплера и закон всемирного тяготения Ньютона послужили основой для открытия новых планет. Так, по результатам наблюдений отклонений в движении планеты Уран, сделанных в 1781 г. английским астрономом и оптиком Уильямом Гершелем (1738—1822), английский астроном и математик Джон Адаме (1819—1892) и французский астроном Урбен Леверье (1811—1877) независимо друг от друга и почти одновременно теоретически предсказали существование заурановой планеты, которую обнаружил в 1846 г. немецкий астроном Иоганн Галле (1812—1910). Она называется Нептун. В 1915 г. американский астроном Персиваль Ловелл (1855—1916) рассчитал и организовал поиск еще одной планеты. Ее обнаружил в 1930 г. молодой американский любитель астрономии Клайд Томбо. Эта планета получила название Плутон.

Стремительными темпами развивалась не только классическая механика Ньютона. Этап классической физики характеризуется крупными достижениями и в других отраслях: термодинамике, молекулярной физике, оптике, электричестве, магнетизме и т.п. Назовем важнейшие из них:

- установлены опытные газовые законы;
- предложено уравнение кинетической теории газов;
- сформулирован принцип равномерного распределения энергии по степеням свободы, первое и второе начала термодинамики;
- открыты законы Кулона, Ома и электромагнитной индукции;
- разработана электромагнитная теория;
- явления интерференции, дифракции и поляризации света получили волновое истолкование;
- сформулированы законы поглощения и рассеяния света.

Конечно, можно назвать и другие не менее важные достижения, среди которых особое место занимает электромагнитная теория, разработанная выдающимся английским физиком Дж. Максвеллом (1831—1879), создателем классической электродинамики, одним из основоположников статистической физики. Он установил, кроме того, статистическое распределение молекул по скоростям, названное его именем. Теория электромагнитного поля (уравнения Максвелла) объяснила многие известные к тому времени явления и предсказала электромагнитную природу света. С электромагнитной теорией Максвелла вряд ли можно поставить рядом другую более значительную в классической физике. Однако и эта теория оказалась не всесильной.

В конце XX в. при изучении спектра излучения абсолютно черного тела была установлена закономерность распределения энергии. Полученные кривые распределения имели характерный максимум, который по мере повышения температуры смещался в сторону более коротких волн. Такие результаты эксперимента не удалось объяснить в рамках классической электродинамики Максвелла. Соглашающееся с экспериментом объяснение предложил в 1900 г. Макс Планк. Для чего ему пришлось отказаться от общепринятого положения классической физики о том, что энергия любой системы изменяется только непрерывно, т.е. принимает любые сколь угодно близкие значения. Согласно выдвинутой Планком квантовой гипотезе атомные осцилляторы излучают энергию не непрерывно, а определенными порциями — квантами, причем энергия кванта пропорциональна частоте.

Характерная особенность *этапа современной физики* заключается в том, что наряду с классическими развиваются квантовые представления, на основании квантовой механики объясняются многие микропроцессы, происходящие в пределах атома, ядра и элементарных частиц — появились новые отрасли современной физики: квантовая электродинамика, квантовая теория твердого тела, квантовая оптика и многие другие.

В одной из своих статей М. Планк писал о том, как во времена его молодости (примерно в 1880 г.) один уважаемый профессор не советовал заниматься физикой, полагая, что в физике осталось только стирать пыль с существующих физических приборов, так как главное уже сделано. Сейчас очевидно: профессор в своих прогнозах ошибался — XX столетие принесло немало великих открытий в физике, определивших многие перспективные направления развития разных отраслей естествознания.

В формировании квантово-механических представлений важную роль сыграла квантовая теория фотоэффекта, предложенная А. Эйнштейном в 1905 г. Именно за эту работу и труды в области математической фи-

зики, а не за теорию относительности, ему в 1921 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

В развитие современной физики существенный вклад внесли многие выдающиеся ученые, среди которых следует назвать датского физика Нильса Бора (1885 — 1962), создавшего квантовую теорию атома, немецкого физика-теоретика Вернера Гейзенберга (1901—1976), сформулировавшего принцип неопределенности и предложившего матричный вариант квантовой механики, австрийского физика-теоретика Эрвина Шредингера (1887— 1961), разработавшего волновую механику и предложившего ее основное уравнение (уравнение Шредингера), английского физика Поля Дирака (1902 — 1984), разработавшего релятивистскую теорию движения электрона и на ее основании предсказавшего существование позитрона, английского физика Эрнеста Резерфорда (1871 — 1937), создавшего учение о радиоактивности и строении атома, и многих других.

В первые десятилетия XX в. исследовалась радиоактивность и выдвигались идеи о строении атомного ядра. В 1938 г. сделано важное открытие: немецкие радиохимики О. Ган и Ф. Штрассман обнаружили деление ядер урана при облучении их нейтронами. Это открытие способствовало бурному развитию ядерной физики, созданию ядерного оружия и рождению атомной энергетики.

В исследовании ядерных процессов большую роль играют детекторы частиц, в том числе и черенковский счетчик, действие которого основано на Черенкова—Вавилова излучении света, которое возникает при движении в веществе заряженных частиц со скоростью, превосходящей фазовую скорость света в нем. Это излучение было обнаружено нашим соотечественником физиком П.А. Черенковым (1904—1990), лауреатом Нобелевской премии 1958 г., под руководством академика С.И. Вавилова (1891—1951), основателя научной школы физической оптики.

Одно из крупнейших достижений физики XX в. — это, безусловно, создание в 1947 г. транзистора выдающимися американскими физиками Д. Бардиным, Д. Браттейном и У. Шокли, удостоенными в 1956 г. Нобелевской премии по физике. С развитием физики полупроводников и созданием транзистора зарождалась новая технология — полупроводниковая, а вместе с ней и перспективная, бурно развивающаяся отрасль естествознания — микроэлектроника. В 1958 г. собрана первая интегральная схема в виде пластины из монокристалла кремния площадью несколько квадратных сантиметров, на которой располагались два транзистора и RC-цепи. Современный микропроцессор размером 1,8 см содержит около 8 млн. транзисторов. Если размеры элементов первых транзисторов составляли доли миллиметра, то сегодня они равны 0,35 мкм. Это современный технологический уровень. В последнее время разрабатывается технология формирования элементов нанометровых размеров.

Создание квантовых генераторов на основе вынужденного излучения атомов и молекул — еще одно важнейшее достижение физики XX в. Первый квантовый генератор на молекулах аммиака — источник электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне (мазер) — разработан в 1954 г. советскими физиками Н.Г. Басовым, А.М. Прохоровым и американским ученым Ч. Таунсом. В 1964 г. за эту работу им присуждена Нобелевская премия по физике. К настоящему времени разработано много модификаций квантовых генераторов, в том числе и оптических квантовых генераторов, называемых *лазерами*, получивших широкое практическое применение. Появились уникальные лазеры — химические, атомные и др., которые открывают перспективные направления лазерных технологий.

Высокотемпературная сверхпроводимость, открытая в 1986 г. немецким физиком Г. Беднорцем и швейцарским ученым А. Мюллером, удостоенными Нобелевской премии 1987 г., — вне всякого сомнения выдающееся достижение современного естествознания.

Созданию единой теории фундаментальных взаимодействий, управлению термоядерным синтезом — этим и многим другим проблемам современной физики уделяется большое внимание, и в их решении принимают участие ученые многих стран.

3.2. МАТЕРИЯ И ДВИЖЕНИЕ, ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО

Одна из важнейших задач естествознания — создание естественно-научной картины мира в виде целостной упорядоченной системы. Для ее решения используются общие и абстрактные понятия: материя, движение, время и пространство.

Материя — это все то, что прямо или косвенно действует на органы чувств человека и другие объекты. Окружающий нас мир, все существующее вокруг нас представляет собой материю, которая тождественна реальности. Неотъемлемое свойство материи — движение. Без движения нет материи, и наоборот. *Движение материи* — любые изменения, происходящие с материальными объектами в результате их взаимодействий. Материя не существует в бесформенном состоянии — из нее образуется сложная иерархическая система материальных объектов различных масштабов и сложности.

Отличительная особенность естественно-научного познания заключается в том, что для естествоиспытателей представляет интерес не материя или движение вообще, а конкретные виды материи и движения, свойства материальных объектов, их характеристики, которые можно измерить с помощью приборов. В современном естествознании различают три вида материи: вещество, физическое поле и физический вакуум.

Вещество — основной вид материи, обладающей массой. К вещественным объектам относятся элементарные частицы, атомы, молекулы и многочисленные образованные из них материальные объекты. В химии вещества подразделяются на простые (с атомами одного химического элемента) и сложные — химические соединения. Свойства вещества зависят от внешних условий и интенсивности взаимодействия атомов и молекул, что и обуславливает различные агрегатные состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное. При сравнительно высокой температуре образуется плазма. Переход вещества из одного состояния в другое можно рассматривать как один из видов движения материи.

В природе наблюдаются различные виды движения материи, которые можно классифицировать с учетом изменений свойств материальных объектов и их воздействий на окружающий мир. Механическое движение (относительное перемещение тел), колебательное и волновое движение, распространение и изменение различных полей, тепловое (хаотическое) движение атомов и молекул, равновесные и неравновесные процессы в макросистемах, фазовые переходы между агрегатными состояниями (плавление, парообразование и др.), радиоактивный распад, химические и ядерные реакции, развитие живых организмов и биосферы, эволюция звезд, галактик и Вселенной в целом — все это примеры многообразных видов движения материи.

Физическое поле — особый вид материи, обеспечивающий физическое взаимодействие материальных объектов и их систем. К физическим полям относятся электромагнитное и гравитационное поля, поле ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие различным частицам (например, электрон-позитронное поле). Источником физических полей являются частицы (например, для электромагнитного поля — заряженные частицы). Созданные частицами физические поля переносят с конечной скоростью взаимодействие между ними. В квантовой теории взаимодействие обуславливается обменом квантами поля между частицами.

Физический вакуум — низшее энергетическое состояние квантового поля. Этот термин введен в квантовой теории поля для объяснения некоторых микропроцессов. Среднее число частиц — квантов поля — в вакууме равно нулю, однако в нем могут рождаться виртуальные частицы — частицы в промежуточных состояниях, существующие короткое время. Виртуальные частицы влияют на физические процессы. В физическом вакууме могут рождаться пары частица—античастица разных типов. При достаточно большой концентрации энергии вакуум взаимодействует с реальными частицами, что подтверждается экспериментом.

Предполагается, что из физического вакуума, находящегося в возбужденном состоянии, родилась Вселенная.

Всеобщими универсальными формами существования и движения материи принято считать время и пространство. Движение материальных объектов и различные реальные процессы происходят в пространстве и во времени. Особенность естественно-научного представления об этих понятиях заключается в том, что время и пространство можно охарактеризовать количественно с помощью приборов.

Время выражает порядок смены физических состояний и является объективной характеристикой любого процесса или явления. Время — это то, что можно измерить с помощью многих приборов. Принцип работы таких приборов основан на разных физических процессах, среди которых наиболее удобны периодические процессы: вращение Земли вокруг своей оси, электромагнитное излучение возбужденных атомов и др. Многие крупные достижения в естествознании связаны с разработкой более точных приборов для определения времени. Существующие сегодня эталоны позволяют измерить время с очень высокой точностью — относительная погрешность измерений составляет менее 10^{-11} .

Временная характеристика реальных процессов основывается на *постулате времени*: одинаковые во всех отношениях явления происходят за одинаковое время. Хотя постулат времени кажется естественным и очевидным, его истинность все же относительна, так как его нельзя проверить на опыте даже с помощью самых совершенных часов, поскольку, во-первых, они характеризуются своей точностью, и, во-вторых, невозможно создать принципиально одинаковые условия в природе в разное время. Вместе с тем длительная практика естественно-научных исследований позволяет не сомневаться в справедливости постулата времени в пределах той точности, которая достигнута в данный момент времени.

При создании классической механики около 300 лет назад И. Ньютон ввел понятие абсолютного, или истинного, математического времени, которое течет всегда и везде равномерно, и относительного времени как меры продолжительности, употребляемой в обыденной жизни и означающей определенный интервал времени: час, день, месяц и т.д.

В современном представлении *время всегда относительно*. Из теории относительности следует, что при скорости, близкой к скорости света в вакууме, время замедляется — происходит *релятивистское замедление времени*, и что сильное поле тяготения приводит к *гравитационному замедлению времени*. В обычных земных условиях такие эффекты чрезвычайно малы.

Важнейшее свойство времени заключается в его необратимости. Прошлое во всех деталях и подробностях нельзя воспроизвести в реальной жизни — прошлое забывается. Необратимость времени обусловлена

сложным взаимодействием множества природных систем, в том числе атомов и молекул, и символически обозначается *стрелой времени*, «летащей» всегда из прошлого в будущее. Необратимость реальных процессов в термодинамике связывают с хаотичным движением атомов и молекул.

Понятие пространства гораздо сложнее понятия времени. В отличие от одномерного времени, реальное пространство трехмерно, т.е. имеет три измерения. В трехмерном пространстве существуют атомы и планетные системы, выполняются фундаментальные законы природы. Однако выдвигаются гипотезы, согласно которым пространство нашей Вселенной имеет много измерений, хотя из них наши органы чувств способны ощущать только три.

Первые представления о пространстве возникли из очевидного существования в природе твердых тел, занимающих определенный объем. Исходя из него, можно дать *определение*: *пространство* выражает порядок сосуществования физических тел. Завершенная теория пространства — геометрия Евклида — создана более 2000 лет назад и до сих пор считается образцом научной теории.

По аналогии с абсолютным временем И. Ньютон ввел понятие абсолютного пространства, которое существует независимо от находящихся в нем физических объектов и может быть совершенно пустым, являясь как бы мировой ареной, где разыгрываются физические процессы. Свойства пространства определяются геометрией Евклида. Именно такое представление о пространстве лежит в основе практической деятельности людей. Однако пустое пространство идеально, в то время как реальный окружающий нас мир заполнен различными материальными объектами. Идеальное пространство без материальных объектов лишено смысла даже, например, при описании механического движения тела, для которого необходимо указать другое тело в качестве системы отсчета. Механическое движение тел относительно. Абсолютного движения, как и абсолютного покоя тел, в природе не существует. *Пространство, как и время, относительно.*

Специальная теория относительности объединила пространство и время в единый континуум пространство — время. Основанием для такого объединения служит принцип относительности и постулат о предельной скорости передачи взаимодействий материальных объектов — скорости света в вакууме, примерно равной 300 000 км/с. Из данной теории следует относительность одновременности двух событий, происшедших в разных точках пространства, а также относительность измерений длин и интервалов времени, произведенных в разных системах отсчета, движущихся относительно друг друга.

В соответствии с общей теорией относительности свойства пространства — времени зависят от наличия материальных объектов. Любой ма-

термальный объект искривляет пространство, которое можно описать не геометрией Евклида, а сферической геометрией Римана или гиперболической геометрией Лобачевского. Предполагается, что вокруг массивного тела при очень большой плотности вещества искривление становится настолько существенным, что пространство — время как бы «замыкается» локально само на себя, отделяя данное тело от остальной Вселенной и образуя черную дыру, которая поглощает материальные объекты и электромагнитное излучение. На поверхности черной дыры для внешнего наблюдения время как бы останавливается. Предполагается, что в центре нашей Галактики находится огромная черная дыра. Однако есть и другая точка зрения. Академик Российской академии наук А. А. Логонов (р. 1926) утверждает, что никакого искривления пространства—времени нет, а происходит искривление траектории движения объектов, обусловленное изменением гравитационного поля. По его мнению, наблюдаемое красное смещение в спектре излучения отдаленных галактик можно объяснить не расширением Вселенной, а переходом посылаемого ими излучения от среды с сильным гравитационным полем в среду со слабым гравитационным полем, в котором находится наблюдатель на Земле.

3.3. КОНЦЕПЦИЯ АТОМИЗМА. ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ МАТЕРИИ

Строение материи интересует естествоиспытателей еще с античных времен. В Древней Греции обсуждались две противоположные гипотезы строения материальных тел. Одну из них предложил древнегреческий мыслитель Аристотель (384—322 до н.э.). Она заключается в том, что вещество делится на более мелкие частицы и нет предела его делимости. По существу, эта гипотеза означает непрерывность вещества. Другая гипотеза выдвинута древнегреческим философом Левкиппом (V в. до н.э.) и развита его учеником Демокритом, а затем его последователем философом-материалистом Эпикуром (341—270 до н.э.). В ней предполагалось, что вещество состоит из мельчайших частиц — атомов. Это и есть *концепция атомизма* — концепция дискретного квантового строения материи. По Демокриту, в природе существуют только атомы и пустота. Атомы — неделимые, вечные, неразрушимые элементы материи.

Реальность существования атомов вплоть до конца XIX в. подвергалась сомнению. В то время объяснения многих химических реакций не нуждались в понятии атома. Для них, как и для количественного описания движения частиц, вводилось другое понятие — молекула. Существование молекул экспериментально доказал французский физик Жан Перрен (1870—1942) при наблюдении броуновского движения. *Молекула* — наименьшая частица вещества, обладающая его основными хими-

ческими свойствами и состоящая из атомов, соединенных между собой химическими связями. Число атомов в молекуле — от двух (H_2 , O_2 , HF , KCl и др.) до сотен, тысяч и миллионов (витамины, гормоны, белки, нуклеиновые кислоты).

Неделимость атома как составной части молекулы долгое время не вызывала сомнений. Однако к началу XX в. физические опыты показали, что атомы состоят из более мелких частиц. Так, в 1897 г. английский физик Д. Томсон (1856—1940) открыл электрон — составную часть атома. В следующем году он определил отношение его заряда к массе, а в 1903 г. предложил одну из первых моделей атома.

Атомы химических элементов по сравнению с наблюдаемыми телами очень малы: их размер — от 10^{-10} до 10^{-9} м, а масса — 10^{-27} — 10^{-25} кг. Они имеют сложную структуру и состоят из ядер и электронов. В результате дальнейших исследований выяснилось, что и ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, т.е. имеют дискретное строение. Это означает, что концепция атомизма для ядер характеризует структуру материи на ее нулевом уровне.

В настоящее время принято считать, что не только вещество, но и другие виды материи — физическое поле и физический вакуум — имеют дискретную структуру. Даже пространство и время, согласно квантовой теории поля, в сверхмалых масштабах образуют хаотически меняющуюся пространственно-временную среду с ячейками размером 10^{-35} м и временем 10^{-43} с. Квантовые ячейки настолько малы, что их можно не учитывать при описании свойств атомов, нуклонов и т.п., считая пространство и время непрерывными.

Основной вид материи — вещество, находящееся в твердом и жидком состояниях, — воспринимается обычно как непрерывная, сплошная среда. Для анализа и описания свойств такого вещества в большинстве случаев учитывается только его непрерывность. Однако то же вещество при объяснении тепловых явлений, химических связей, электромагнитного излучения и т.п. рассматривается как дискретная среда, состоящая из взаимодействующих между собой атомов и молекул.

Дискретность и непрерывность присущи и другому виду материи — физическому полю. Гравитационное, электрическое, магнитное и другие поля при решении многих физических задач принято считать непрерывными. Однако в квантовой теории поля предполагается, что физические поля дискретны.

Для одних и тех же видов материи характерна и непрерывность, и дискретность. Для классического описания природных явлений и свойств материальных объектов достаточно учитывать непрерывные свойства

материи, а для характеристики различных микропроцессов — ее дискретные свойства. Непрерывность и дискретность — неотъемлемые свойства материи.

3.4. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Виды фундаментальных взаимодействий. Огромное разнообразие природных систем и структур, их особенности и динамизм обуславливаются взаимодействием материальных объектов, т.е. их взаимным действием друг на друга. Именно взаимодействие — основная причина движения материи, поэтому взаимодействие, как и движение, универсально, т.е. присуще всем материальным объектам вне зависимости от их природы происхождения и системной организации. Особенности различных взаимодействий определяют условия существования и специфику свойств материальных объектов.

Взаимодействующие объекты обмениваются энергией и импульсом — основными характеристиками их движения. В классической физике взаимодействие определяется силой, с которой один материальный объект действует на другой.

Долгое время считалось, что взаимодействие материальных объектов, находящихся даже на большом расстоянии друг от друга, передается через пустое пространство мгновенно. Такое утверждение соответствует *концепции дальнего действия*. К настоящему времени экспериментально подтверждена другая концепция — *концепция ближнего действия*: взаимодействия передаются посредством физических полей с конечной скоростью, не превышающей скорости света в вакууме. Эта, по существу, полевая концепция в квантовой теории поля дополняется утверждением: при любом взаимодействии происходит обмен особыми частицами — квантами поля.

Наблюдаемые в природе взаимодействия материальных объектов и систем весьма разнообразны. Однако, как показали физические исследования, все взаимодействия можно отнести к четырем видам фундаментальных взаимодействий: гравитационному, электромагнитному, сильному и слабому.

Гравитационное взаимодействие проявляется во взаимном притяжении любых материальных объектов, имеющих массу. Оно передается посредством гравитационного поля и определяется фундаментальным законом природы — *законом всемирного тяготения*, сформулированным И. Ньютоном:

между двумя материальными точками массой m и m_1 , расположенными на расстоянии r друг от друга, действует сила F , прямо пропорциональная произведению их масс и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G — гравитационная постоянная.

Законом всемирного тяготения описываются падение материальных тел в поле Земли, движение планет Солнечной системы, звезд и т.п.

В соответствии с квантовой теорией поля переносчиками гравитационного взаимодействия являются *гравитоны* — частицы с нулевой массой, кванты гравитационного поля.

Электромагнитное взаимодействие обусловлено электрическими зарядами и передается посредством электрического и магнитного полей. Электрическое поле возникает при наличии электрических зарядов, а магнитное — при их движении. Изменяющееся магнитное поле порождает переменное электрическое поле, которое, в свою очередь, является источником переменного магнитного поля.

Благодаря электромагнитному взаимодействию существуют атомы и молекулы, происходят химические превращения вещества. Различные агрегатные состояния вещества, трение, упругость и т.п. определяются силами межмолекулярного взаимодействия, электромагнитными по своей природе. Электромагнитное взаимодействие описывается фундаментальными законами электростатики и электродинамики: законом Кулона, законом Ампера и др., и в обобщенном виде — электромагнитной теорией Максвелла, связывающей электрическое и магнитное поля. Получение, преобразование и применение электрического и магнитного полей, а также электрического тока служат основой для создания разнообразных современных технических средств: электроприборов, радиоприемников, телевизоров, осветительных и нагревательных приборов, компьютеров и т.д.

Согласно квантовой электродинамике, переносчиками электромагнитного взаимодействия являются фотоны — кванты электромагнитного поля с нулевой массой. Во многих случаях они регистрируются приборами в виде электромагнитной волны разной длины. Например, воспринимаемый невооруженным глазом видимый свет, посредством которого отражается основная доля (около 90%) информации об окружающем мире, представляет собой электромагнитную волну в довольно узком диапазоне длин волн (примерно 0,4—0,8 мкм), соответствующем максимуму солнечного излучения.

Сильное взаимодействие обеспечивает связь нуклонов в ядре. Оно определяется ядерными силами, обладающими зарядовой независимостью, короткодействием, насыщением и другими свойствами. Сильное взаимодействие отвечает за стабильность атомных ядер. Чем сильнее взаимодействие нуклонов в ядре, тем стабильнее ядро, тем больше его

удельная энергия связи. С увеличением числа нуклонов в ядре и, следовательно, размера ядра удельная энергия связи уменьшается и ядро может распадаться, что и происходит с ядрами элементов, находящихся в конце таблицы Менделеева.

Предполагается, что сильное взаимодействие передается *глюонами* — частицами, «склеивающими» кварки, входящие в состав протонов, нейтронов и других частиц.

В слабом взаимодействии участвуют все элементарные частицы, кроме фотона. Оно обуславливает большинство распадов элементарных частиц, взаимодействие нейтрино с веществом и другие процессы. Слабое взаимодействие проявляется главным образом в процессах бета-распада атомных ядер многих изотопов, свободных нейтронов и т.д. Принято считать, что переносчиками слабого взаимодействия являются *вионы* — частицы с массой, примерно в 100 раз большей массы протонов и нейтронов. Вионы обнаружены в 1983 г.

Для количественной характеристики фундаментальных взаимодействий обычно используют безразмерную константу взаимодействия, определяющую величину взаимодействия, и радиус действия (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Вид взаимодействия	Константа взаимодействия	Радиус действия, м
Гравитационное	10^{-39}	∞
Электромагнитное	10^{-2}	∞
Сильное	1	10^{-15}
Слабое	10^{-14}	10^{-18}

Из таблицы видно, что гравитационное взаимодействие гораздо слабее других фундаментальных взаимодействий. Радиус действия его неограничен. Оно не играет существенной роли в микропроцессах и в то же время является доминирующим для материальных объектов с большими массами (планет, звезд, галактик и т.п.). Электромагнитное взаимодействие гораздо сильнее гравитационного, хотя его радиус действия также неограничен. Для сильного и слабого взаимодействий характерно короткодействие. Сильное взаимодействие проявляется только в пределах размеров ядра (10^{-15} м), а слабое — на гораздо меньшем расстоянии — 10^{-18} м.

В результате экспериментальных исследований взаимодействий элементарных частиц в 1983 г. было обнаружено, что при больших энергиях столкновения протонов — около 100 ГэВ (1 ГэВ = 10^9 эВ — слабое и электромагнитное взаимодействия не различаются — их можно рассматривать как единое электрослабое взаимодействие. Такое объединение двух фундаментальных взаимодействий — электромагнитного и слабо-

го — было теоретически предсказано в 60—70-х годах XX в. американскими физиками С. Вайнбергом (1933—1996) и Ш. Глэшоу (р. 1932) и пакистанским физиком А. Саламом (р. 1926 г.), удостоенными Нобелевской премии по физике 1979 г. Существенный вклад в развитие теории электрослабого взаимодействия внесли нидерландские ученые Г. Хуфт и М. Вельтман, лауреаты Нобелевской премии по физике 1999 г.

Одна из важнейших задач современного естествознания — создание единой теории фундаментальных взаимодействий, объединяющей не только электромагнитное и слабое, но и сильное, и слабое взаимодействия. Решение такой довольно сложной задачи потребует синтеза естественно-научных знаний о материальных объектах разных масштабов — от элементарных частиц до Вселенной. Единая теория фундаментальных взаимодействий обеспечит концептуальное обобщение знаний об окружающем мире.

Предполагается, что при относительно больших энергиях взаимодействия частиц (до 10^{19} ГэВ) или при чрезвычайно высокой температуре материи все четыре фундаментальных взаимодействия характеризуются одинаковой силой, т.е. представляют собой одно взаимодействие, определяемое «суперсилой». Возможно, такие экстремальные условия существовали в начальный момент зарождения Вселенной. При расширении Вселенной и быстром охлаждении образовавшегося вещества единое взаимодействие разделилось на четыре принципиально отличающиеся друг от друга взаимодействия, определившие структурную организацию материи.

Структурная организация материи. Важнейшее свойство материи — ее структурная и системная организация, которая выражает упорядоченность существования материи в виде огромного разнообразия материальных объектов различных масштабов и уровней, связанных между собой единой системой иерархии. Непосредственно наблюдаемые нами тела состоят из молекул, молекулы — из атомов, атомы — из ядер и электронов, атомные ядра — из нуклонов, нуклоны — из кварков. Сегодня принято считать, что электроны и гипотетические частицы кварки не содержат более мелких частиц.

С биологической точки зрения самая крупная живая система — биосфера — состоит из биоценозов, содержащих множество популяций живых организмов различных видов, а популяции образуют отдельные особи, живой организм которых состоит из клеток со сложной структурой, включающих ядро, мембрану и другие составные части.

В современном естествознании множество материальных систем принято условно делить на микромир, макромир и мегамир. К *микромиру* относятся молекулы, атомы и элементарные частицы. Материальные объекты, состоящие из огромного числа атомов и молекул, образуют *мак-*

ромир. Самую крупную систему материальных объектов составляет *мегамир* — мир планет, звезд, галактик и Вселенной.

Материальные системы микро-, макро- и мегамира различаются между собой размерами, характером доминирующих процессов и законами, которым они подчиняются. Пространственные масштабы и размеры (в метрах с точностью до одного порядка чисел) некоторых материальных объектов представлены ниже.

Радиус космологического горизонта или наблюдаемой Вселенной	10^{26}
Диаметр нашей Галактики	10^{21}
Расстояние от Земли до Солнца	10^{11}
Диаметр Солнца	10^9
Размеры человека	10^0
Длина волны видимого света	$10^{-6} - 10^{-7}$
Размер вирусов	$10^{-6} - 10^{-8}$
Диаметр атома водорода	10^{-10}
Диаметр атомного ядра	10^{-15}
Минимальное расстояние, доступное современным средствам измерений	10^{-18}

Отношение самого большого размера к самому малому, составляющее сегодня 44 порядка, возрастало и будет возрастать по мере накопления естественно-научных знаний об окружающем мире. «Мир наш — только школа, где мы учимся познавать», — справедливо заметил французский философ М. Монтень (1533 — 1592).

Важнейшая концепция современного естествознания заключается в материальном единстве всех систем микро-, макро- и мегамира. Можно говорить о единой материальной основе происхождения всех материальных систем на разных стадиях эволюции Вселенной.

Материальные объекты микро-, макро- и мегамира отличаются друг от друга не только своими размерами, но и другими количественными характеристиками. Так, один моль любого вещества (характерное количество вещества для макрообъектов, составляющее, например, для воды 18 г) содержит огромное число молекул или атомов, называемое постоянной Авогадро и примерно равное $6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Солнце состоит из колоссального числа частиц: $8 \cdot 10^{56}$ ядер атомов водорода и $9 \cdot 10^{55}$ ядер атомов гелия.

Свойства и особенности материальных объектов микро-, макро- и мегамира описываются разными теориями, принципами и законами. При объяснении процессов в микромире используются принципы и теории квантовой механики, квантовой статистики и т.п. Изучение материаль-

ных объектов макросистем основано на законах и теориях классической механики Ньютона, термодинамики и статической физики, классической электродинамики Максвелла. Вместе с тем многие понятия и концепции (энергия, импульс и др.), введенные в классической физике для описания свойств материальных объектов макромира, с успехом используются для объяснения процессов в микро- и мегамире. Движение планет Солнечной системы описывается законом всемирного тяготения и законами Кеплера. Происхождение и эволюция Вселенной объясняются на основании комплекса естественно-научных знаний, включающих физику элементарных частиц, квантовую теорию поля, теорию относительности и т.п.

Материальные объекты образуют целостную систему лишь в том случае, если энергия связи между ними больше кинетической энергии каждого из них. Энергия связи — это та энергия, которую необходимо затратить, чтобы полностью «расташить» систему на отдельные ее составляющие. Величина энергии связи природных систем на различных уровнях организации материи зависит от вида взаимодействия и характера сил, объединяющих материальные объекты в систему. Например, существование в течение миллиардов лет звезд, в том числе и Солнца, обусловливается устойчивым равновесием между энергией взаимного гравитационного притяжения частиц, стремящегося сжать вещество звезды, и энергией их теплового движения, приводящего к его рассеиванию. Объединяющую роль в атомах и молекулах играет электромагнитное взаимодействие.

Существенное различие между материальными объектами микро- и макромира заключается в тождественности микрочастиц и индивидуальности макросистем. Для микрочастиц выполняется *принцип тождественности*: состояния системы частиц, получающиеся друг из друга перестановкой частиц местами, нельзя различить ни в каком эксперименте. Такие состояния рассматриваются как одно физическое состояние. Этот квантово-механический принцип характеризует одно из основных различий между классической и квантовой механикой. В классической механике можно проследить за движением отдельных частиц по траекториям и таким образом отличить частицы одну от другой. В квантовой механике тождественные частицы полностью лишены индивидуальности. Однако в природе не существует двух совершенно одинаковых макросистем — все они индивидуальны. Индивидуальность может проявляться и на молекулярном уровне. Например, молекулы этилового спирта и диметилового эфира имеют одинаковый атомный состав и молекулярную массу, но различные химические и физические свойства. Такие вещества называются *химическими изомерами*. Изомерия обнаруживается и для атомных ядер. Нестабильные ядерные изомеры при одинаковом составе ядер имеют различные периоды полураспада.

Фундаментальные физические законы описывают вполне определенные объекты вне зависимости от того, где они находятся. Например, с помощью законов сохранения энергии и импульса можно описать не только движение тел на Земле, но и взаимодействие элементарных частиц, и движение планет, звезд и т.п. Атомы везде одинаковы — на Земле и в космическом пространстве. Все это означает, что *фундаментальные законы универсальны* — они применимы к объектам всего мира, доступным нашим наблюдениям с помощью самых совершенных и чувствительных приборов. Универсальность фундаментальных законов подтверждается экспериментальными результатами многочисленных исследований различных свойств материальных объектов микро-, макро- и мегамира и свидетельствует о материальном единстве природы и Вселенной в целом.

3.5. ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Важную роль в развитии естествознания сыграл принцип относительности, впервые сформулированный Г. Галилеем для механического движения. Механическое движение относительно, и его характер зависит от системы отсчета. Система, в которой выполняется первый закон Ньютона, называется *инерциальной системой отсчета*. Такая система либо покоится, либо движется прямолинейно и равномерно относительно какой-то другой системы, неподвижной или движущейся прямолинейно и с постоянной скоростью.

Опытным путем установлено, что с большой степенью точности инерциальной можно считать гелиоцентрическую (звездную) систему отсчета с началом координат в центре Солнца. Система отсчета, связанная с Землей, строго говоря, неинерциальная, так как Земля вращается вокруг собственной оси и обращается вокруг Солнца. Однако поправки, обусловленные неинерциальностью такой системы, пренебрежимо малы и не учитываются при решении многих задач. Если системы отсчета движутся относительно друг друга равномерно и прямолинейно и в одной из них справедливы законы динамики Ньютона, то такие системы инерциальные.

Для инерциальных систем выполняется механический принцип относительности — *принцип относительности Галилея*:

во всех инерциальных системах отсчета законы классической динамики имеют одинаковую форму.

Этот принцип означает, что уравнения динамики при переходе от одной инерциальной системы к другой не изменяются, т. е. инвариантны по отношению к преобразованию координат. Никакими механическими

опытами, проведенными в инерциальной системе отсчета, нельзя установить, покоится она или движется равномерно и прямолинейно.

А. Пуанкаре распространил механический принцип относительности на все электромагнитные процессы, а А. Эйнштейн использовал его для специальной теории относительности, принципы которой он сформулировал в 1905 г. В обобщенном виде принцип относительности формулируется так:

все инерциальные системы отсчета равноправны между собой (неотличимы друг от друга) в отношении протекания физических процессов или, другими словами, физические процессы не зависят от равномерного и прямолинейного движения системы отсчета.

Вместе с принципом относительности в физике утвердились понятия инвариантности, инвариантов и симметрии, а также связь их с фундаментальными законами сохранения. *Инвариантность* означает неизменность физических величин или свойств природных объектов при переходе от одной системы отсчета к другой. В специальной теории относительности постулируется инвариантность законов природы и скорости света в вакууме. Законы природы и скорость света не изменяются в результате преобразований координат и времени, предложенных нидерландским физиком Х. Лоренцом (1853—1928) в 1904 г. (еще до появления специальной теории относительности), — преобразований, при которых уравнения Максвелла остаются инвариантными.

Специальная теория относительности включает два постулата:

1) принцип относительности: никакие опыты (механические, электрические, оптические), проведенные в данной инерциальной системе отсчета, не дают возможности обнаружить, покоится ли эта система или движется равномерно и прямолинейно; все законы природы инвариантны по отношению к переходу от одной инерциальной системы к другой;

2) принцип инвариантности скорости света: скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источников света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

Специальная теория относительности выходит за рамки привычных классических представлений о пространстве и времени, поскольку они не соответствуют принципу постоянства скорости света. Пространство и время в ней носят не абсолютный, а относительный характер. Из специальной теории относительности следуют необычные пространственно-временные свойства: относительность длин и промежутков времени, относительность одновременности событий.

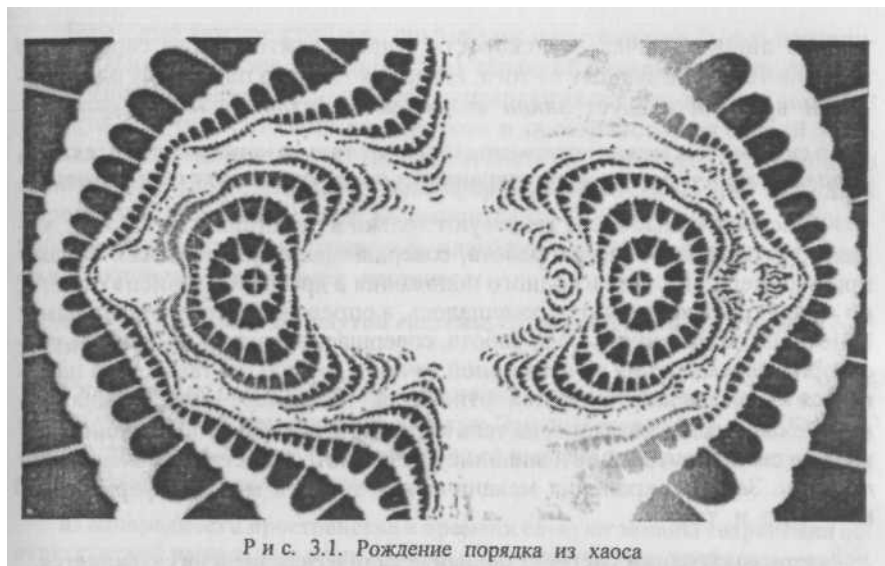
Общая теория относительности, называемая иногда теорией тяготения, — результат развития специальной теории относительности. Из нее вытекает, что свойства пространства — времени зависят от поля тяготения. При переходе к космическим масштабам геометрия пространства —

времени может изменяться от одной области к другой в зависимости от концентрации масс материальных объектов и их движения. В поле тяготения пространство — время обладает кривизной. Слабой кривизне соответствует обычная ньютоновская гравитация, которая определяет, например, движение планет Солнечной системы. Однако в сильных гравитационных полях, создаваемых массивными космическими объектами, искривление пространства — времени становится существенным. Если подобного рода объект совершает колебательное или вращательное движение, кривизна периодически изменяется. Распространение таких изменений в пространстве рождает *гравитационные волны*. Аналогично тому, как электромагнитная волна с квантово-механической точки зрения представляет собой поток фотонов, квантование гравитационной волны соответствует гравитону — частице с нулевой массой покоя. Ни гравитационные волны, ни гравитоны экспериментально не обнаружены. Прием гравитационных волн и обнаружение гравитонов — одно из направлений фундаментальных естественно-научных исследований *гравитационно-волновой астрономии*.

3.6. СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА — ВРЕМЕНИ И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Для понимания законов природных явлений и процессов весьма важен принцип инвариантности относительно сдвигов в пространстве и во времени, т.е. параллельных переносов начал координат и отсчета времени. Он формулируется так: *смещение во времени и в пространстве не влияет на протекание физических процессов*.

Инвариантность структуры, свойств, формы материального объекта относительно его преобразований называется *симметрией*. Наглядный пример пространственной симметрии материальных систем — кристаллическая структура твердых тел. Симметрия кристаллов — закономерность атомного строения, внешней формы и физических свойств кристаллов. Она заключается в том, что кристалл можно совместить с самим собой путем поворотов, отражений, параллельных переносов и других преобразований. Симметрия свойств кристалла обусловлена симметрией его строения. Например, элементы симметрии присущи не только минералам, но и раковинам моллюсков, дикорастущим растениям и т. п. Орнамент, наверное, самое древнее изображение симметрии. С помощью математического моделирования можно продемонстрировать, например, довольно сложный характер взаимодействия электрона с ионами кристаллической решетки, что видно из рис. 3.1, где прослеживается зарождение упорядоченной симметричной структуры из хаотических фрагментов.



Р и с. 3.1. Рождение порядка из хаоса

Из принципа инвариантности относительно сдвигов в пространстве и во времени следует симметрия пространства и времени, называемая однородностью соответственно пространства и времени. *Однородность пространства* заключается в том, что при параллельном переносе в пространстве замкнутой системы тел как целого ее физические свойства и законы движения не изменяются, иными словами, не зависят от выбора положения начала координат инерциальной системы отсчета.

Для количественного описания движения тела используется понятие импульса. *Импульс* определяется произведением массы тела на его скорость. Из свойства однородности пространства следует *закон сохранения импульса*:

импульс замкнутой системы сохраняется, т.е. не изменяется с течением времени.

Этот закон справедлив не только для объектов классической физики (хотя он и получен как следствие законов Ньютона), но и для замкнутых систем микрочастиц, подчиняющихся принципам квантовой механики. Импульс сохраняется и для незамкнутой системы, если геометрическая сумма всех внешних сил равна нулю.

Закон сохранения импульса носит универсальный характер и является фундаментальным законом природы.

Однородность времени означает инвариантность физических законов относительно выбора начала отсчета времени. Например, при свободном падении тела в поле силы тяготения его скорость и пройденный путь

зависят лишь от начальной скорости и продолжительности свободного падения тела и не зависят от того, когда тело начало падать. Из однородности времени следует *закон сохранения механической энергии*:

в системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется, т.е. не изменяется со временем.

Консервативные силы действуют только в потенциальных полях, характеризующихся тем, что работа, совершаемая действующими силами при перемещении тела из одного положения в другое, не зависит от того, по какой траектории оно перемещалось, а определяется его начальным и конечным положением. Если работа, совершаемая силой, зависит от траектории перемещения тела из одной точки в другую, то такая сила называется *диссипативной* (к ней относится, например, сила трения).

Механические системы, на тела которых действуют только консервативные силы (внутренние и внешние), называются *консервативными системами*. Закон сохранения механической энергии можно сформулировать еще и так:

в консервативных системах полная механическая энергия сохраняется.

В диссипативных системах механическая энергия постепенно уменьшается из-за преобразования ее в другие (немеханические) формы энергии. Такой процесс называется *диссипацией* или *рассеянием энергии*. Все реальные системы в природе диссипативные.

В системе, в которой действуют консервативные и диссипативные силы, полная механическая энергия системы не сохраняется. Следовательно, для такой системы закон сохранения механической энергии не выполняется. Однако при убывании механической энергии всегда возникает эквивалентное количество энергии другого вида, например тепловой. Таким образом,

энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой.

В этом заключается физическая сущность закона сохранения и превращения энергии — неуничтожимость материи и ее движения, поскольку

энергия — универсальная мера различных форм движения и взаимодействия.

Закон сохранения энергии — результат обобщения многочисленных опытов. В становлении этого фундаментального закона большую роль сыграли труды М.В. Ломоносова, впервые сформулировавшего закон сохранения материи и движения, и его математическое обоснование немецкими учеными — врачом Ю. Майером (1814—1878) и естествоиспытателем Г. Гельмгольцем (1821—1894).

Еще одно важное свойство симметрии пространства — его изотропность. *Изотропность пространства* означает инвариантность физических законов относительно выбора направления осей координат системы отсчета, т.е. относительно ее поворота в пространстве на любой угол. Вращательное движение механической системы описывается с помощью *момента импульса*. Например, для материальной точки момент импульса определяется произведением ее импульса на радиус вращения. Из изотропности пространства следует фундаментальный закон природы — *закон сохранения момента импульса*:

момент импульса замкнутой системы сохраняется, т.е. не изменяется с течением времени.

Связь между свойствами пространства — времени и законами сохранения установила немецкий математик Эмми Нетер (1882—1935). Она сформулировала и доказала названную ее именем фундаментальную теорему математической физики:

из однородности пространства и времени следуют законы сохранения соответственно импульса и энергии, а из изотропности пространства — закон сохранения момента импульса.

Различные виды симметрии в природе — предмет теоретических исследований разных свойств материальных объектов микро-, макро- и мегамира с применением довольно сложного и абстрактного математического аппарата теории групп. Значительный вклад в ее развитие внес французский математик Эварист Галуа (1811—1832), жизнь которого рано оборвалась (в возрасте 21 года он был убит на дуэли). С помощью теории групп русский минералог и кристаллограф Е.С. Федоров (1853—1919) предложил классификацию правильных пространственных систем точек, составляющих основу современной кристаллографии. С учетом симметрии пространства — времени в результате решения уравнения общей теории относительности российский математик и геофизик А.А. Фридман (1888—1925) предсказал расширение Вселенной.

Анализируя роль принципов симметрии и инвариантности, современный американский физик-теоретик Э. Вигнер, лауреат Нобелевской премии 1963 г., применивший теорию групп в квантовой механике, предложил рассматривать ряд ступеней в процессе познания, восхождение по которым позволяет все глубже и глубже познать природные процессы. Вначале в хаосе эмпирических фактов проявляются некоторые закономерности. Затем в результате обобщения эмпирических фактов и анализа их связей формулируются фундаментальные законы природы. Наконец, на основании известных законов выдвигаются принципы, позволяющие дедуктивным путем предсказать те или иные свойства материальных объектов. Так создаются естественно-научные теории, охватывающие широ-

кий круг природных явлений и процессов. Идею применения основополагающих принципов для объяснения природных явлений впервые предложил и реализовал И. Ньютон еще задолго до появления современных представлений об инвариантности и симметрии. В своем труде «Оптика» он писал: «Вывести из явлений два или три общих принципа движения и затем изложить, как из этих ясных принципов вытекают свойства и действия всех вещественных предметов, вот что было бы очень большим шагом в философии, хотя причины этих принципов и не были еще открыты».

3.7. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Законы динамики. Классическая механика Ньютона сыграла и играет до сих пор огромную роль в развитии естествознания. Она объясняет множество физических явлений и процессов в земных и внеземных условиях, составляет основу многих технических достижений. На ее фундаменте формировались естественно-научные методы исследований в различных отраслях естествознания.

Вплоть до начала XX в. в науке господствовало *механистическое мировоззрение*: все явления природы можно объяснить движениями частиц и тел. Утверждению такого воззрения способствовала молекулярно-кинетическая теория вещества, позволившая понять механизм теплового движения молекул. В книге «Эволюция физики» А. Эйнштейн и Л. Инфельд (1898—1968) назвали развитие кинетической теории вещества одним из величайших достижений науки, непосредственно связанным с механистическим воззрением.

Основу классической механики составляет *концепция Ньютона*. Сущность ее наиболее кратко и отчетливо выразил А. Эйнштейн: «Согласно ньютоновской системе физическая реальность характеризуется понятиями пространства, времени, материальной точки и силы (взаимодействия материальных точек). В ньютоновской концепции под физическими событиями следует понимать движение материальных точек в пространстве, управляемое неизменными законами. Материальная точка есть единственный способ нашего представления реальности, поскольку реальное способно к изменению».

В 1667 г. Ньютон сформулировал три закона динамики — фундаментальные законы классической механики. Законы Ньютона играют исключительную роль в естествознании и являются (как и большинство физических законов) обобщением результатов огромного человеческого опыта, о чем сам Ньютон образно сказал: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов». Законы Ньютона рассматривают обычно как систему взаимосвязанных законов.

Первый закон Ньютона:

всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит ее изменить это состояние.

Стремление тела сохранить состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется *инертностью* или *инерцией*. Поэтому первый закон Ньютона иногда называют *законом инерции*.

Для количественной формулировки второго закона динамики вводятся понятия ускорения a , массы тела m и силы F . *Ускорение* характеризует быстроту изменения скорости движения тела. *Масса* — одна из основных характеристик материальных объектов, определяющая их инерционные (*инертная масса*) и гравитационные (*тяжелая*, или *гравитационная масса*) свойства. *Сила* — это векторная величина, мера механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

Второй закон Ньютона:

ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе материальной точки (тела):

$$a = \frac{F}{m}.$$

Второй закон Ньютона справедлив только в инерциальных системах отсчета. Первый закон Ньютона можно получить из второго. Действительно, в случае равенства нулю равнодействующих сил (при отсутствии воздействия на тело со стороны других тел) ускорение также равно нулю. Однако первый закон Ньютона рассматривается как самостоятельный закон, а не как следствие второго закона, поскольку именно он утверждает существование инерциальных систем отсчета.

Взаимодействие между материальными точками (телами) определяется *третьим законом Ньютона*:

всякое действие материальных точек (тел) друг на друга носит характер взаимодействия; силы, с которыми действуют друг на друга материальные точки, всегда равны по модулю, противоположно направлены и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки:

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}.$$

Здесь \mathbf{F}_{12} — сила, действующая на первую материальную точку со стороны второй; \mathbf{F}_{21} — сила, действующая на вторую материальную точку со стороны первой. Эти силы приложены к разным материальным точкам (телам), всегда действуют парами и являются силами одной природы. Третий закон Ньютона позволяет осуществить переход от динамики от-

дельной материальной точки к динамике системы материальных точек, характеризующихся парным взаимодействием.

Законы Ньютона позволяют решить многие задачи механики — от простых до сложных. Спектр таких задач значительно расширился после разработки Ньютоном и его последователями нового для того времени математического аппарата — дифференциального и интегрального исчисления, широко применяемого в настоящее время для решения различных задач естествознания.

Классическая механика и лапласовский детерминизм. Причинное объяснение многих физических явлений в конце XVIII — начале XIX в. привело к абсолютизации классической механики. Возникло философское учение — *механистический детерминизм*, — основанное П. Лапласом, французским математиком, физиком и философом. *Лапласовский детерминизм* выражает идею *абсолютного детерминизма* — уверенность в том, что все происходящее имеет причину в человеческом понятии и есть познанный и еще непознанный разумом необходимость. Суть его можно понять из высказывания Лапласа: «Современные события имеют с событиями предшествующими связь, основанную на очевидном принципе, что никакой предмет не может начать быть без причины, которая его произвела... Воля, сколь угодно свободная, не может без определенного мотива породить действия, даже такие, которые считаются нейтральными... Мы должны рассматривать современное состояние Вселенной как результат ее предшествующего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение ее составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, обнял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого легкого атома; для него не было бы ничего неясного, и будущее, как и прошлое, было бы у него перед глазами... Кривая, описываемая молекулой воздуха или пара, управляется столь же строго и определенно, как и планетные орбиты: между ними лишь та разница, что налагается нашим неведением». С этими словами перекликается убеждение А. Пуанкаре: «Наука детерминистична, она является таковой a priori [изначально], она постулирует детерминизм, так как она без него не могла бы существовать. Она является таковой и a posteriori [из опыта]: если она постулировала его с самого начала как необходимое условие своего существования, то она затем строго доказывает его своим существованием, и каждая из ее побед является победой детерминизма».

Дальнейшее развитие физики показало, что для некоторых природных процессов трудно определить причину. Например, радиоактивный распад происходит случайно. Подобные процессы объективно случайны, а не потому, что мы не можем указать их причину из-за недостатка наших знаний. И наука при этом не перестала развиваться, а обогатилась новыми

ми законами, принципами и концепциями, что свидетельствует об ограниченности классического принципа — лапласовского детерминизма. Абсолютно точное описание всего прошедшего и предсказание будущего для колоссального разнообразия материальных объектов, явлений и процессов — задача сложная и лишенная объективной необходимости. Даже для самого простейшего объекта — материальной точки — из-за конечной точности измерительных приборов абсолютно точное предсказание также нереально.

Согласно современным представлениям, классическая механика имеет свою область применения: ее законы выполняются для относительно медленных движений тел, скорость которых много меньше скорости света в вакууме. В то же время практика показывает: истинность законов классической механики не вызывает сомнений. Важное значение классической физики заключается в том, что она навсегда останется совершенно необходимым «мостом», соединяющим человека как макросубъекта познания со все более глубокими уровнями микро- и мегамира. Такое значение неоднократно подчеркивал один из создателей квантовой механики Н. Бор: «Как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий. Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова «эксперимент». Словом «эксперимент» мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщить другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики».

3.8. СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОСИСТЕМ

Развитие представлений о природе тепловых явлений. Вокруг нас происходят явления, внешне весьма косвенно связанные с механическим движением. Это явления, наблюдаемые при изменении температуры тел, представляющих собой макросистемы, или при переходе их из одного состояния (например, жидкого) в другое (твердое либо газообразное) (рис. 3.2). Такие явления называются *тепловыми*. Они играют огромную роль в жизни людей, животных и растений. Изменение температуры на 20—30 °С при смене времени года меняет все вокруг нас. С наступлением весны природа преобразается, леса и луга зеленеют. От температуры окружающей среды зависит возможность жизни на Земле. Люди добились относительной независимости от окружающей среды после того, как научились добывать и поддерживать огонь. Это было одним из величайших открытий, сделанных на заре зарождения человечества.



Развитие представлений о природе тепловых явлений — пример того, каким сложным и противоречивым путем постигается естественно-научная истина. Многие философы древности рассматривали огонь и связанную с ним теплоту как одну из стихий, которая наряду с землей, водой и воздухом образует все тела. Одновременно предпринимались попытки связать теплоту с движением, ибо было замечено, что при соударении тел или их трении они нагреваются.

Первые успехи на пути построения научной теории теплоты относятся к началу XVII в., когда был изобретен термометр и появилась возможность количественного исследования тепловых процессов и свойств макросистем. Вновь перед наукой встал вопрос: что же такое теплота? Наметились две противоположные точки зрения. Согласно одной из них — *вещественной теории тепла* — теплота рассматривалась как особого рода невесомая «жидкость», способная перетекать от одного тела к другому. Такая жидкость была названа теплородом. Чем больше теплорода в теле, тем выше температура тела. Приверженцы другой точки зрения полагали, что *теплота — это вид внутреннего движения частиц тела*. Чем быстрее движутся частицы тела, тем выше его температура. Таким образом, представление о тепловых явлениях и свойствах связывалось с атомистическим учением древних философов о строении вещества. В рамках подобных представлений теорию тепла первоначально называли *корпускулярной* (от слова «корпускула» — частица). Ее придерживались Ньютон, Гук, Бойль, Бернулли и др.

Большой вклад в развитие корпускулярной теории тепла сделал М.В. Ломоносов, рассматривавший теплоту как вращательное движение частиц вещества. С помощью своей теории он объяснил в общем процессы

плавления, испарения и теплопроводности, а также пришел к выводу о существовании «наибольшей или последней степени холода», когда движение частичек вещества прекращается. Благодаря работам Ломоносова среди русских ученых было очень мало сторонников вещественной теории теплоты.

И все же, несмотря на многие преимущества корпускулярной теории теплоты, к середине XVIII в. временную победу одержала теория теплорода. Это произошло после экспериментального доказательства сохранения теплоты при теплообмене, что послужило основанием для вывода о сохранении (неуничтожении) тепловой жидкости — теплорода. С помощью введенного понятия теплоемкости тел удалось создать количественную теорию теплопроводности. Многие термины, введенные в то время, сохранились донныне.

В середине XIX в. установлена связь между механической работой и количеством теплоты. Подобно механической работе, количество теплоты оказалось мерой изменения энергии. Нагревание тела связано не с увеличением в нем количества особой невесомой «жидкости», а с увеличением его энергии. Теплота представляет собой форму энергии. Принцип теплорода был вытеснен фундаментальным законом сохранения энергии.

Значительный вклад в развитие теории тепловых явлений и свойств макросистем внесли немецкий физик Р. Клаузиус (1822—1888), английский физик-теоретик Дж. Максвелл, австрийский физик Л. Больцман (1844—1906) и др.

Термодинамическое и статистическое описание свойств макросистем. Открытие закона сохранения энергии способствовало развитию двух качественно различных, но взаимно дополняющих методов исследования тепловых явлений и свойств макросистем: термодинамического и статистического (молекулярно-кинетического). Первый из них лежит в основе термодинамики, второй — молекулярной физики.

Термодинамика — наука о тепловых явлениях, в которой не учитывается молекулярное строение тел и тепловые явления характеризуются параметрами, регистрируемыми приборами (термометром, манометром и др.), не реагирующими на воздействие отдельных молекул. Законы термодинамики описывают тепловые свойства тел, число молекул в которых огромно. Такие тела называются *макросистемами*. Газ в баллоне, вода в стакане, песчинка, камень, стальной стержень и т.п. — все это примеры макросистем. Тепловые свойства макросистем определяются термодинамическими параметрами (параметрами состояния): температурой, давлением и удельным объемом (объемом единицы массы). Эти параметры часто называются функциями состояния системы.

Температура — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы. В соответ-

ствии с решением XI Генеральной конференции по мерам и весам (1960) в настоящее время рекомендовано применять только две температурные шкалы — термодинамическую и Международную практическую, градуированные соответственно в кельвинах (К) и в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Анализ показывает, что 0 К (абсолютный нуль) недостижим, хотя сколь угодно близкое приближение к нему возможно.

К концу XIX в. была создана последовательная теория, описывающая свойства большой совокупности атомов и молекул — *молекулярно-кинетическая теория*, или *статистическая механика*. Процессы, изучаемые молекулярной физикой, являются результатом совокупного действия огромного числа молекул, которое анализируется статистическим методом, основанным на том, что свойства макросистемы в конечном результате определяются особенностями движения частиц и их усредненными кинетическими и динамическими характеристиками (скоростью, энергией, давлением и т. д.). Например, температура тела зависит от скорости беспорядочного движения его молекул, но так как в любой момент времени разные молекулы имеют различные скорости, ее удобно определять через среднее значение скорости движения молекул. Нельзя говорить о температуре одной молекулы. Макроскопические характеристики тел имеют физический смысл лишь в случае большого числа молекул.

Термодинамические и статистические методы описания свойств макросистем дополняют друг друга и широко используются при решении различных естественно-научных задач.

Основные положения молекулярно-кинетических представлений. В основе молекулярно-кинетических представлений о строении и свойствах макросистем лежат три основных положения:

- любое тело — твердое, жидкое или газообразное — состоит из большого числа весьма малых частиц — молекул (атомы можно рассматривать как одноатомные молекулы);
- молекулы всякого вещества находятся в беспорядочном, хаотическом, не имеющем какого-либо преимущественного направления движении;
- интенсивность движения молекул, определяемая их скоростью, зависит от температуры вещества.

Тепловые свойства вещества связаны с его внутренним строением. Например, нагревание кусочка парафина на несколько десятков градусов превращает его в жидкость, а подобное нагревание металлического стержня не оказывает на него заметного влияния. Такое различное действие нагревания связано с различием во внутреннем строении данных веществ. Поэтому исследование тепловых явлений можно использовать для выяснения общей картины строения вещества. И наоборот, определен-

ные представления о строении вещества помогают понять физическую сущность тепловых явлений, дать им глубокое наглядное истолкование.

Количественным воплощением молекулярно-кинетических представлений являются опытные газовые законы (законы Бойля—Мариотта, Гей—Люссака, Шарля, Авогадро, Дальтона), уравнение Клапейрона—Менделеева (уравнение состояния), основное уравнение кинетической теории идеальных газов, закон Максвелла для распределения молекул и др.

Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории вытекает важный вывод:

средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы идеального газа прямо пропорциональна его термодинамической температуре и зависит только от нее:

$$E = \frac{3}{2} kT,$$

где k — постоянная Больцмана; T — температура.

Из данной формулы следует, что при $T = 0$ К средняя кинетическая энергия равна нулю, т.е. при абсолютном нуле прекращается поступательное движение молекул газа, и, следовательно, его давление равно нулю. Термодинамическая температура — мера кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа, а приведенная формула раскрывает молекулярно-кинетическое толкование температуры.

Первое положение молекулярно-кинетических представлений — любое тело состоит из большого числа весьма малых частиц-молекул — доказано многочисленными опытами, одновременно подтвердившими реальное существование молекул и атомов. Приведем некоторые цифры, показывающие, насколько малы размеры молекул и атомов и как много их содержится в каком-либо макроскопическом теле. С помощью ионного микроскопа удалось показать, что диаметр атомов вольфрама составляет около 20 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Размер молекулы водорода примерно того же порядка — около 23 нм. Очевидно, при очень малых размерах молекул число их в любом макроскопическом теле огромно. Несложный расчет показывает, что число молекул в капле воды составляет около $3 \cdot 10^{22}$. Такой маленький объект, а такое колоссальное количество молекул!

3.9. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Всякая термодинамическая система в любом состоянии обладает *внутренней энергией* — энергией теплового (поступательного, вращательного и колебательного) движения молекул и потенциальной энергией их взаимодействия. Возможны два способа изменения внутренней

энергии термодинамической системы при ее взаимодействии с внешними телами: совершение работы и теплообмен.

Известно, что в процессе превращения энергии действует закон сохранения механической энергии. Поскольку тепловое движение тоже механическое (только не направленное, а хаотическое), то при всех превращениях должен выполняться закон сохранения энергии не только внешних, но и внутренних движений. Данное утверждение составляет основу *первого начала термодинамики*:

количество теплоты Q , сообщенное телу, идет на увеличение его внутренней энергии U и на совершение телом работы A , т.е.

$$Q = U + A.$$

Из первого начала термодинамики следует важный вывод: *невозможен вечный двигатель первого рода*, т.е. такой двигатель, который совершал бы работу «из ничего», без внешнего источника энергии. При наличии внешнего источника часть энергии неизбежно переходит в энергию теплового, хаотического движения молекул, что и является причиной невозможности полного превращения энергии внешнего источника в полезную работу.

Многочисленные опыты показывают, что все тепловые процессы в отличие от механического движения необратимы, т.е. для них обратные процессы, при которых реализуются те же тепловые состояния, но только в обратном направлении, практически невозможны. Другими словами, *термодинамические процессы необратимы*. Приведем два характерных примера необратимых процессов. Если привести в соприкосновение два тела с различной температурой, то более нагретое тело будет отдавать тепло менее нагретому. Обратный процесс — самопроизвольный переход тепла от менее нагретого тела к более нагретому — никогда не произойдет. Столь же необратимым является и другой процесс — расширение газа в пустоту. Газ, находящийся в части сосуда, отдаленной от другой части перегородкой, после ее удаления заполняет весь сосуд. Без постороннего вмешательства газ никогда не соберется самопроизвольно в той же части сосуда, где он находился первоначально.

Всякая предоставленная самой себе система стремится перейти в состояние *термодинамического равновесия*, в котором тела находятся в состоянии покоя по отношению друг к другу, обладая одинаковыми температурой и давлением.

Равенство температур во всех точках есть условие равновесия двух систем или двух частей одной и той же системы.

Это положение называется *нулевым началом термодинамики*. Достигнув равновесия, система сама по себе из него не выходит. Значит, все

термодинамические процессы, приближающиеся к тепловому равновесию, необратимы. Необратимы и все механические процессы, сопровождающиеся трением. Трение вызывает замедление движения тел, при котором кинетическая энергия переходит в тепло. Замедление эквивалентно приближению к состоянию равновесия, при котором движение тел отсутствует.

В системе тел, находящихся в термодинамическом равновесии, без внешнего вмешательства невозможны никакие реальные процессы. Следовательно, с помощью тел, находящихся в термодинамическом равновесии, невозможно совершить никакой работы, так как работа связана с механическим движением, т.е. с переходом тепловой энергии в кинетическую. Утверждение о невозможности получения работы за счет энергии тел, находящихся в термодинамическом равновесии, лежит в основе второго начала термодинамики.

Окружающая нас среда обладает колоссальным запасом тепловой энергии. Двигатель, работающий только за счет энергии находящихся в тепловом равновесии тел, был бы практически вечным двигателем. Второе начало термодинамики исключает возможность создания такого *вечного двигателя второго рода*.

Необратимость тепловых процессов имеет вероятностный характер. Самопроизвольный переход тела из равновесного состояния в неравновесное не возможен, а лишь весьма маловероятен. В конечном результате необратимость тепловых процессов обуславливается колоссальностью числа молекул, из которых состоит тело.

Молекулы газа стремятся к наиболее вероятному состоянию, т.е. к состоянию с беспорядочным распределением молекул, при котором примерно одинаковое число молекул движется вверх и вниз, вправо и влево, причем в каждом объеме находятся примерно одинаковое число молекул, одинаковая доля быстрых и медленных молекул в верхней и нижней частях какого-либо сосуда. Любое отклонение от такого беспорядка, хаоса, т.е. от равномерного и беспорядочного перемешивания молекул по местам и скоростям, связано с уменьшением вероятности, или представляет собой менее вероятное событие. Напротив, процессы, связанные с перемешиванием, с созданием хаоса из порядка, увеличивают вероятность состояния. Только при внешнем воздействии возможно рождение порядка из хаоса, при котором порядок вытесняет хаос. В качестве примеров, демонстрирующих порядок, можно привести созданные природой минералы, построенные человеком большие и малые сооружения и т.п.

Количественной характеристикой теплового состояния системы является термодинамическая вероятность W , равная числу микроскопиче-

ских способов, с помощью которых это состояние может быть достигнуто. Система, предоставленная самой себе, стремится перейти в состояние с большим значением W . Принято пользоваться не самой вероятностью W , а ее логарифмом, который еще умножается на постоянную Больцмана k . Определенную таким образом величину

$$S = k \ln W$$

называют *энтропией системы*. Эта формула высечена на памятнике Больцману.

Обсуждая принцип Больцмана, немецкий физик и математик А. Зоммерфельд (1868—1951) писал: «Высеченная на памятнике Больцману на Венском кладбище эта формула парит на фоне облаков над могилой великого Больцмана. Неважно, что сам Больцман никогда не писал этой формулы. Это сделал Планк в первом издании лекций по теории теплового излучения (1906). Планку же принадлежит введение постоянной k . Сам Больцман говорил только о пропорциональности между энтропией и логарифмом вероятности состояния. Термин «принцип Больцмана» был введен Эйнштейном». Возрастание энтропии для необратимых процессов есть следствие перехода системы от менее вероятного состояния к более вероятному, при этом состояние равновесия выступает как наиболее вероятное.

Второе начало термодинамики, определяющее направление тепловых процессов, формулируется как *закон возрастания энтропии*:

для всех происходящих в замкнутой системе тепловых процессов энтропия системы возрастает; максимально возможное значение энтропии замкнутой системы достигается в тепловом равновесии:

$$\Delta S \geq 0.$$

Идеальному случаю — полностью обратимому процессу замкнутой системы — соответствует неизменяющаяся энтропия. Все естественные процессы происходят так, что вероятность состояния возрастает, что означает переход от порядка к хаосу. Значит, энтропия характеризует меру хаоса, которая для всех естественных процессов возрастает. В этой связи закон о невозможности вечного двигателя второго рода, закон о стремлении тел к равновесному состоянию получает свое объяснение. Почему механическое движение переходит в тепловое? Да потому, что механическое движение упорядочено, а тепловое беспорядочно, хаотично.

В середине XIX в. активно обсуждалась *проблема тепловой смерти Вселенной*. Рассматривая Вселенную как замкнутую систему и применяя к ней второе начало термодинамики, немецкий физик Р. Клаузиус

(1822—1888) пришел к заключению: энтропия Вселенной достигнет своего максимума. Это означает, что все формы движения со временем перейдут в тепловые. Переход же теплоты от горячих тел к холодным приведет к тому, что температура всех тел во Вселенной сравняется, т.е. наступит полное тепловое равновесие и все процессы во Вселенной прекратятся — наступит тепловая смерть Вселенной. Ограниченность такого вывода заключается в том, что бессмысленно применять второе начало термодинамики к незамкнутым системам, к которым относится и наша Вселенная.

Открытие второго начала термодинамики связано с трудами французского ученого и инженера С. Карно (1796—1832), английского физика У. Томсона (барона Кельвина) (1824—1907) и Р. Клаузиуса. Работа С. Карно проложила дорогу, по которой У. Томсон и Р. Клаузиус пришли в 50-е годы XIX в. к фундаментальному закону — второму началу термодинамики. Один из основоположников термодинамики неравновесных процессов, бельгийский физик и физикохимик И.П. Пригожин (1917—2003) в своей Нобелевской лекции в 1977 г. отметил: «В истории науки второй закон термодинамики сыграл выдающуюся роль, далеко выходящую за рамки явлений, для объяснения сущности которых он был предназначен. Достаточно вспомнить работы Больцмана в области кинетической теории, разработку Планком квантовой теории излучения и Эйнштейном теории спонтанной эмиссии; в основе всех этих достижений лежит второй закон термодинамики».

При абсолютном нуле температуры энтропия принимает значение, не зависящее от давления, агрегатного состояния и других характеристик вещества. Такое значение можно положить равным нулю.

Это утверждение называется *тепловой теоремой*, впервые сформулированной немецким физикохимиком В.Г. Нернстом (1864—1941), лауреатом Нобелевской премии по физике 1920 г. Теорема Нернста не вытекает из первых двух начал, поэтому в силу своей общности она рассматривается как *третье начало термодинамики*.

Теоремой Нернста завершается построение классической термодинамики. В то же время естественно-научные проблемы сегодняшнего дня привели к созданию совершенно новой отрасли естествознания — неравновесной термодинамики. Хотя сфера применения классической термодинамики давно определена и известны принципы, лежащие в ее основе, однако в самой равновесной термодинамике есть области, которые представляют теоретический и практический интерес и непременно будут развиваться. К ним относится термодинамика реальных тел, сжатых газов, жидкостей, кристаллов, дисперсных систем, химических процессов и т.д.

3.10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Развитие концепции поля. В классическом представлении различают два вида материи: вещество и физическое поле. К первому из них относятся атомы, молекулы и все состоящие из них материальные объекты, структура и форма которых весьма разнообразны. *Физическое поле* — особая форма материи. К настоящему времени известно несколько видов физического поля: электромагнитное, гравитационное, поле ядерных сил и волновые (квантовые) поля, соответствующие различным элементарным частицам. Рассмотрим более подробно электромагнитное поле. Именно для него английский физик-самоучка М. Фарадей (1791—1867) в 30-е годы XIX в. впервые ввел понятие поля. Наука о свойствах и закономерностях проявления в различных средах и в вакууме электромагнитного поля, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрически заряженными телами, называется *электродинамикой*.

Среди четырех видов фундаментальных взаимодействий — гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого — электромагнитное взаимодействие занимает первое место по широте и разнообразию проявлений. Например, силы упругости, трения и т. д. имеют электромагнитную природу. Электромагнитное взаимодействие позволяет видеть окружающие нас предметы и тела, так как свет — одна из форм электромагнитного поля. Сама жизнь немыслима без сил электромагнитной природы. Живые существа и в том числе человек, как показывают полеты космонавтов, способны длительное время находиться в состоянии невесомости, т. е. без ощутимого действия сил всемирного тяготения. Однако, если на мгновение прекратилось бы действие электромагнитных сил, то сразу исчезла бы и жизнь. Строение атомных оболочек, объединение атомов в молекулы (химическая связь) и образование из вещества тел различной формы определяются исключительно электромагнитным взаимодействием.

К созданию электромагнитной теории поля привела длинная цепь случайных открытий и планомерных кропотливых исследований, начиная с обнаружения способности янтаря, потертого о шелк, притягивать легкие предметы и кончая предложенной во второй половине XIX в. английским физиком Дж. Максвеллом идеи о порождении магнитного поля переменным электрическим полем. Разработанная Максвеллом электромагнитная теория поля способствовала систематическому исследованию электромагнитных явлений, первым важнейшим результатом которого было изобретение радио выдающимся русским физиком и электротехником А.С. Поповым (1859—1906). При развитии электромагнитной теории поля многие научные исследования предшествовали техническим приме-

нениям. Если паровая машина была построена задолго до создания теории тепловых процессов, то сконструировать электродвигатель или радиоприемник оказалось возможным лишь после открытия и изучения законов электродинамики. Практическое применение многих электромагнитных устройств, несомненно, привело к неизбежному и существенному преобразованию различных сфер деятельности человека и развитию цивилизации.

Концепции дальнего действия и ближнего действия. Утверждению понятия поля в значительной мере способствовало стремление осознать дальнедействующий характер электрических сил и сил тяготения. Сразу после открытия И. Ньютоном закона всемирного тяготения, а затем, примерно через сто лет, и закона Кулона, описывающего взаимодействие заряженных тел, возникли вопросы в большей степени философского содержания: почему физические тела, обладающие массой, действуют друг на друга на расстояниях, даже на огромных, через пустое пространство, и почему заряженные тела взаимодействуют даже через электрически нейтральную среду? До введения понятия поля не было удовлетворительных ответов на данные вопросы.

Долгое время считалось, что взаимодействие между телами передается непосредственно через пустое пространство, которое не принимает в нем участия, и передача взаимодействия происходит мгновенно. Такое предположение составляет сущность *концепции дальнего действия*, впервые предложенной французским математиком, физиком и философом Рене Декартом. Многие ученые были ее сторонниками вплоть до конца XIX в., хотя, например, И. Ньютон считал невероятным и даже невозможным мгновенное взаимодействие тел.

Экспериментальные исследования электромагнитных явлений показали несоответствие концепции дальнего действия физическому опыту. Кроме того, эта концепция противоречила постулату специальной теории относительности: скорость передачи взаимодействия тел ограничена и не должна превышать скорости света в вакууме. Опыты показали, что взаимодействие электрически заряженных тел происходит не мгновенно, а в течение вполне определенного времени. Каждая электрически заряженная частица создает электромагнитное поле, действующее на другие заряженные частицы, т.е. взаимодействие передается через «посредника» — электромагнитное поле. Скорость распространения электромагнитного поля не превышает скорости света в вакууме. В этом заключается *концепция ближнего действия*. Она правомерна не только для электромагнитных, но и других видов взаимодействий. Согласно этой концепции, взаимодействие между телами осуществляется посредством тех или иных полей (например, тяготение — посредством гравитационного поля), непрерывно распределенных в пространстве.

В рамках классической физики дискретные и непрерывные свойства материи взаимопротивоположны и независимы друг от *друга*. И только развитие электромагнитной концепции поля позволило понять их диалектическое единство. В современной квантовой теории такое единство противоположностей дискретного и непрерывного нашло обоснование в концепции *корпускулярно-волнового дуализма*.

С развитием квантовой теории поля представление о взаимодействии принципиально изменилось: любое поле является не непрерывным, а дискретным. Например, электромагнитное взаимодействие в квантовой теории поля является результатом обмена частиц *фотонами* — квантами электромагнитного поля. Аналогично другие виды взаимодействия обусловливаются обменом квантами соответствующих полей. Так, в гравитационном взаимодействии, как предполагается, принимают участие гравитоны.

Согласно полевой концепции, участвующие во взаимодействии частицы создают в окружающем их пространстве особое состояние — *поле сил*, проявляющееся в силовом воздействии на другие частицы, помещенные в такое пространство. Первоначально выдвигалась механическая интерпретация поля как упругих напряжений гипотетической среды — «эфира». Теория относительности, отвергнув «эфир» как особую упругую среду, вместе с тем придала фундаментальный смысл понятию поля как первичной физической реальности.

В современной квантовой физике на роль «эфира» претендует новый вид материи — *физический вакуум*, — впервые введенный одним из создателей квантовой теории поля английским физиком П. Дираком. Хотя физический вакуум непосредственно не наблюдается (он прозрачен для электромагнитных излучений и не оказывает никакого сопротивления движению материальных частиц и тел), но все же он может проявляться при взаимодействии с ним тех же частиц или электромагнитных волн (гамма-квантов), обладающих достаточно большой энергией. В истории физики за последние 300 лет предложены по крайней мере четыре разные концепции «эфира»: абсолютное пространство Ньютона, светоносный эфир Гюйгенса, гравитационный эфир Эйнштейна и физический вакуум Дирака. Насколько оправдается предположение физиков о существовании в природе особой среды — физического вакуума, покажет будущее.

Сущность электромагнитной теории Максвелла. В 60-х годах XIX в. английский физик Дж. Максвелл, развивая представление Фарадея об электромагнитном поле, создал *теорию электромагнитного поля* — первую завершенную теорию поля. Она описывает только электрическое и магнитное поля и весьма успешно объясняет многие электро-

магнитные явления. Полезно напомнить некоторые основные идеи, лежащие в основе этой теории, и вытекающие из нее выводы.

Согласно закону Фарадея, любое изменение магнитного потока приводит к возникновению электромагнитной индукции, характеризующейся электродвижущей силой (ЭДС). Электромагнитная индукция возникает только тогда, когда на носителей электрического тока действуют сторонние силы, т.е. силы не электростатического происхождения. Какова же природа сторонних сил? Опыт показывает, что сторонние силы не связаны ни с тепловыми, ни с химическими процессами; их возникновение нельзя объяснить наличием сил Лоренца. В этой связи Дж. Максвелл предположил: всякое переменное магнитное поле возбуждает в окружающем пространстве электрическое поле, которое и является причиной возникновения индукционного тока в контуре. Оказывается, контур, в котором возникает ЭДС, играет второстепенную роль, выполняя функцию своеобразного «прибора», обнаруживающего это поле. Электрическое поле, возбуждаемое магнитным полем, как и само магнитное поле, является вихревым.

Согласно Максвеллу, если переменное магнитное поле возбуждает в пространстве вихревое электрическое поле, то возможно и обратное: изменение электрического поля должно вызывать появление в окружающем пространстве вихревого магнитного поля. Для установления количественных соотношений между изменяющимся электрическим полем и вызываемым им магнитным полем Максвелл ввел в рассмотрение так называемый *ток смещения*, обладающий способностью создавать в окружающем пространстве магнитное поле. Ток смещения в вакууме не связан с движением зарядов, а обуславливается только изменением электрического поля во времени и вместе с тем возбуждает магнитное поле — в этом заключается принципиально новое утверждение Максвелла.

Из уравнений Максвелла следует, что источниками электрического поля могут быть электрические заряды и изменяющиеся во времени магнитные поля, а магнитные поля могут возбуждаться движущимися электрическими зарядами (электрическими токами) и переменными электрическими полями. Уравнения Максвелла не симметричны относительно электрического и магнитного полей. Это связано с тем, что в природе существуют электрические заряды, но нет зарядов магнитных.

В стационарном случае, когда электрическое и магнитное поля не изменяются во времени, источниками электрического поля могут быть только электрические заряды, а источниками магнитного — только токи проводимости. При этом электрическое и магнитное поля независимы друг от друга, что и позволяет изучать отдельно постоянные электрические и магнитные поля.

Уравнения Максвелла — общие уравнения для электрических и магнитных полей. В электромагнетизме они играют такую же роль, как законы Ньютона в механике. Из уравнений Максвелла следует, что переменное магнитное поле всегда связано с порождаемым им электрическим полем, а переменное электрическое поле — с порождаемым им магнитным, т.е. электрическое и магнитное поля неразрывно взаимосвязаны и образуют единое электромагнитное поле.

3.11. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

Развитие представлений о свете. Теория Максвелла как обобщение основных законов электрических и магнитных явлений не только объяснила многие уже известные к тому времени экспериментальные результаты, но и предсказала новые явления, например существование электромагнитных волн — переменного электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью. В дальнейшем было доказано, что скорость распространения свободного электромагнитного поля (не связанного с зарядами и токами) в вакууме равна скорости света. Этот вывод и теоретическое исследование свойств электромагнитных волн привели к созданию электромагнитной теории света, в соответствии с которой свет представляет собой электромагнитные волны. Электромагнитные волны впервые обнаружил немецкий физик Г. Герц (1857—1894). Он доказал, что их возникновение и распространение полностью описываются уравнениями Максвелла, а также установил тождественность основных свойств электромагнитных волн. В 1899 г. выдающийся русский физик П.Н. Лебедев (1866—1912) открыл и измерил давление света, экспериментально подтвердив электромагнитную теорию света. Практическое применение электромагнитных волн началось в 1895 г., когда наш соотечественник физик и электротехник А.С. Попов создал первый радиоприемник, в котором в качестве источника волн он использовал вибратор Герца.

Первые попытки количественно описать оптические явления приняты гораздо раньше — в конце XVII в. В то же время обсуждались две взаимоисключающие гипотезы о природе света. Ньютон предложил корпускулярную гипотезу, согласно которой свет представляет собой поток световых частиц (корпускул), летящих от светящегося тела по прямолинейным траекториям. А его современник нидерландский физик Гюйгенс (1629—1695) выдвинул волновую теорию: свет — упругая волна, распространяющаяся в мировом эфире. В течение ста с лишним лет корпускулярная теория имела гораздо больше приверженцев, чем волновая. Однако в начале XIX в. французскому физiku О.Ж. Френелю (1788—1827) удалось на основе волновых представлений объяснить многие известные в то время оптические явления. В результате волновая теория света полу-

чила всеобщее признание, а корпускулярная теория была забыта почти на столетие. В 1851 г. французский ученый Ж. Фуко (1819—1868), измерив скорость света в воде, получил еще одно экспериментальное доказательство справедливости волновой теории.

Долгое время считалось, что свет — это поперечная волна, распространяющаяся в гипотетической упругой среде, заполняющей все мировое пространство и получившей название мирового эфира. После создания электромагнитной теории на смену упругим световым волнам пришли электромагнитные волны. В конце XIX — начале XX вв. ряд новых опытов заставил вновь вернуться к представлению об особых световых частицах — фотонах. С тех пор утвердилось представление о корпускулярно-волновом дуализме: свет имеет двойственную природу, сочетая в себе как волновые свойства, так и свойства, присущие частицам. В одних явлениях, таких как интерференция, дифракция и поляризация, свет ведет себя как волна, а в других (фотоэффект, эффект Комптона) — как поток частиц (фотонов).

Согласно электромагнитной теории Максвелла,

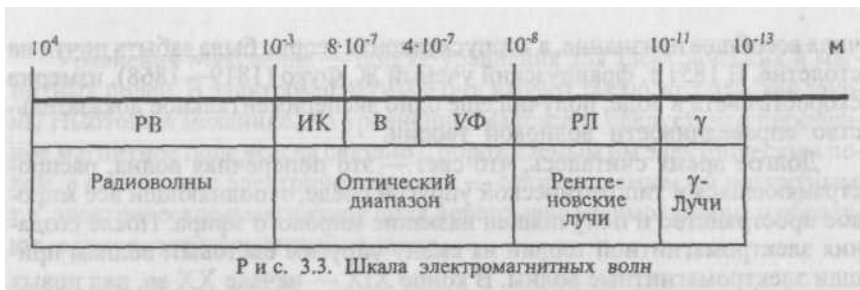
$$\frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} = n,$$

где c и v — соответственно скорости распространения света в вакууме и в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ ; n — показатель преломления среды.

Эта формула связывает электрические, магнитные и оптические свойства вещества. По Максвеллу, ϵ и μ — величины, не зависящие от длины волны света, поэтому электромагнитная теория не смогла объяснить явление дисперсии (зависимость показателя преломления от длины волны). Эта трудность была преодолена в конце XIX в. нидерландским физиком Х. Лоренцем (1853—1928), предложившим электронную теорию, учитывавшую колебания электронов внутри атома.

Световые волны занимают лишь небольшой интервал шкалы электромагнитных волн — от 380 до 770 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) (рис. 3.3). Все окружающее нас пространство пронизано электромагнитным излучением. Солнце, антенны радиостанций и телевизионных передатчиков, окружающие нас тела испускают электромагнитные волны, которые в зависимости от частоты носят разные названия: радиоволны (РВ), инфракрасное излучение (ИК), видимый свет (В), ультрафиолетовое излучение (УФ), рентгеновские лучи (РЛ), гамма-лучи (γ). В отличие от механических волн, распространяющихся только в веществе (газе, жидкости или твердом теле), электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме.

Волновые свойства света. Основоположник волновой теории Х. Гюйгенс не отвергал существования корпускул, полагая, что они не излучаются светящимися телами, а заполняют все пространство. Процесс



распространения света он представлял не как поступательное движение, а как последовательный процесс передачи взаимодействия между корпускулами. Его сторонники считали, что свет распространяется в особой среде — «эфире», заполняющем все мировое пространство и свободно проникающем во все тела. Световое возбуждение от источника света передается посредством эфира во все стороны. Так возникли первые волновые представления о природе света. В развитии волновой теории света весьма важную роль сыграл принцип, сформулированный Гюйгенсом, а затем развитый французским физиком О. Френелем (1788—1827). Принцип *Гюйгенса — Френеля* состоит в том, что

каждая точка, до которой дошло световое возбуждение, в свою очередь, становится источником вторичных волн и передает их во все стороны соседним точкам.

Наиболее наглядно волновые свойства света проявляются в явлениях интерференции и дифракции.

Интерференция света заключается в том, что при взаимном наложении двух волн происходит усиление или ослабление колебаний.

Принцип интерференции впервые сформулировал в 1801 г. английский ученый Томас Юнг (1773—1829), врач по профессии. Он поставил простой и наглядный опыт с двумя отверстиями. На экране кончиком булавки прокалывались два близко расположенных отверстия, которые освещались солнечным светом из небольшого отверстия в зашторенном окне. За экраном наблюдалась вместо двух ярких точек серия чередующихся темных и светлых колец, представляющая собой интерференционную картину. Необходимым условием интерференции является *когерентность волн* — согласованное протекание колебательных или волновых процессов. На интерференции основан принцип работы многих приборов — интерферометров, с помощью которых производят точные измерения, контроль чистоты обработки поверхности деталей и т.п.

В 1818 г. О. Френель представил развернутый доклад по дифракции света на конкурс Парижской академии наук. Анализируя представленный доклад, французский математик и физик С. Пуассон (1781—1840)

пришел к неожиданному выводу: согласно предлагаемой Френелем теории при определенных условиях в центре дифракционной картины от непрозрачного круглого препятствия на пути света должно быть светлое пятно, а не тень. Другой французский ученый — Д. Араго (1786—1853) тут же поставил опыт, и вывод Пуассона подтвердился. Так, на первый взгляд, противоречащее теории Френеля заключение, сделанное Пуассоном, превратилось благодаря опыту Араго в одно из доказательств ее справедливости и способствовало признанию волновой природы света.

Отклонение света от прямолинейного распространения называется дифракцией.

На дифракции основаны многие оптические приборы. В частности, дифракция рентгеновских лучей используется во многих аппаратах различного назначения.

Волновую природу света доказывает, кроме того, и *поляризация*. Сущность поляризации наглядно демонстрирует простой опыт: при пропускании света через два прозрачных кристалла его интенсивность изменяется в зависимости от взаимной ориентации кристаллов. При одинаковой ориентации свет проходит без ослабления. При повороте одного из кристаллов на 90° свет полностью гасится, т.е. не проходит через кристаллы. Явление поляризации можно объяснить, считая свет поперечной волной. При прохождении через первый кристалл происходит поляризация света, т.е. кристалл пропускает только волны с колебаниями вектора напряженности электрического поля в одной плоскости. Если плоскости, в которой пропускаются колебания первым и вторым кристаллом, совпадают, свет проходит без ослабления. При повороте одного из кристаллов на 90° он гасится.

Волновой природой света объясняется и дисперсия света, которая проявляется в том, что узкий параллельный пучок белого света при прохождении через стеклянную призму разлагается на пучки света разного цвета, соответствующие разной длине волны. Дисперсию света впервые экспериментально наблюдал Ньютон.

Зависимость показателя преломления вещества от длины волны называется дисперсией света.

Белый свет состоит из электромагнитных волн с разной длиной волны, и показатель преломления зависит от длины волны. Так, для прозрачных веществ показатель преломления максимален для света с короткой длиной волны — фиолетового и минимален для длинноволнового света — красного.

Объяснение явлений дифракции, интерференции, поляризации и дисперсии света привело к окончательному утверждению волновой теории света.

Квантовые свойства света. В 1887 г. немецкий физик, один из основоположников электродинамики Генрих Герц (1857—1894) при освеще-

нии цинковой пластины обнаружил, что с поверхности пластины под действием света вырываются отрицательно заряженные частицы. Позднее было доказано, что эти заряженные частицы — электроны.

Испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения называется фотоэффектом.

Закономерности фотоэффекта экспериментально установил в 1888—1889 гг. выдающийся русский физик А.Г. Столетов (1839—1896). Попытка объяснить их в рамках электромагнитной теории света Максвелла не удалась.

Электромагнитная теория Максвелла и электронная теория Лоренца, несмотря на огромные успехи, были несколько противоречивы и при их применении возникали затруднения. Обе теории основывались на гипотезе об эфире, только «упругий эфир» был заменен «эфиром электромагнитным» (теория Максвелла) или «неподвижным эфиром» (теория Лоренца). Теория Максвелла не смогла объяснить не только фотоэффект, но и процессы испускания и поглощения света, комптоновского рассеяния и т.д. Теория Лоренца, в свою очередь, оказалось несостоятельной в объяснении механизма взаимодействия света с веществом, распределения энергии по длинам волн при тепловом излучении абсолютно черного тела и др.

Перечисленные затруднения и противоречия были преодолены благодаря смелой гипотезе, высказанной в 1900 г. немецким физиком М. Планком (1858—1947), согласно которой

излучение и поглощение света происходит не непрерывно, а дискретно, т.е. определенными порциями (квантами), энергия E которых определяется частотой ν :

$$E = h\nu,$$

где h — постоянная Планка.

Квантовая теория Планка не нуждалась в «эфире» и объяснила закономерность теплового излучения абсолютно черного тела. В 1905 г. А. Эйнштейн обосновал квантовую природу света: не только излучение света, но и его распространение происходят в виде потока световых квантов-фотонов, энергия которых определяется приведенной выше формулой Планка, а импульс

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

где c — скорость света; λ , — длина волны.

Квантовые свойства электромагнитных волн проявляются и в *эффекте Комптона*: при рассеянии монохроматического рентгеновского излучения веществом с легкими атомами в составе рассеянного излучения на-

ряду с излучением с первоначальной длиной волны наблюдается излучение с более длинной волной.

Квантовая концепция согласуется с законами излучения и поглощения света, законами взаимодействия излучения с веществом. Такие хорошо изученные явления, как интерференция, дифракция и поляризация света, объясняются в рамках волновых представлений. Все свойства и законы распространения света, его взаимодействие с веществом показывают, что

свет имеет сложную природу: он представляет собой единство противоположных свойств — корпускулярного (квантового) и волнового (электромагнитного).

Таким образом длительный путь развития естествознания привел к современной концепции двойственной корпускулярно-волновой природы света. *Свет представляет собой единство дискретности и непрерывности.*

Контрольные вопросы

1. В чем заключается основная задача физики?
2. Почему физику принято считать фундаментальной отраслью естествознания?
3. Охарактеризуйте основные этапы развития физики.
4. Назовите важнейшие достижения физики XX в.
5. Какие виды материи различают в современном представлении?
6. Какова история развития концепций пространства и времени?
7. В чем заключается относительность пространства и времени?
8. В чем проявляется релятивистское и гравитационное замедление времени?
9. В чем сущность концепции атомизма? Кто ее впервые предложил?
10. Каково современное представление концепции атомизма?
11. Кто и когда открыл электрон?
12. Назовите основные виды фундаментальных взаимодействий и охарактеризуйте их.
13. Сформулируйте закон всемирного тяготения.
14. Охарактеризуйте кратко проблему создания единой фундаментальной теории.
15. Чем обуславливается структурная организация материи?
16. Сформулируйте принцип тождественности.
17. В чем заключается универсальность физических законов?
18. Сформулируйте принцип относительности Галилея?
19. Что такое инвариантность?
20. Сформулируйте постулаты специальной теории относительности.
21. Из каких свойств пространства и времени следуют законы сохранения?
22. Дайте формулировку законов сохранения импульса и энергии.
23. Какой закон следует из изотропности пространства?
24. В чем сущность классической концепции Ньютона?
25. В чем заключается лапласовский детерминизм?
26. Как развивались представления о природе тепловых явлений?
27. Каковы основные положения молекулярно-кинетических представлений?
28. Сформулируйте первое начало термодинамики.
29. Объясните невозможность создания вечного двигателя второго рода.
30. Сформулируйте второе начало термодинамики.
31. В чем заключается сущность проблемы тепловой смерти Вселенной?

32. Каковы перспективы развития классической термодинамики?
33. В чем сущность концепций дальнего действия и ближнего действия?
34. В соответствии с квантовой теорией поле дискретно или непрерывно?
35. Кто и когда создал теорию электромагнитного поля?
36. Дайте краткое описание истории развития представлений о свете.
37. В чем проявляются волновые свойства света?
38. Напишите формулу, подтверждающую волновую и квантовую природу света.

4. АТОМНЫЙ И НУКЛЕОННЫЙ УРОВНИ СТРОЕНИЯ МАТЕРИИ

4.1. СТРУКТУРА АТОМОВ

Развитие представлений о структуре атомов. Представление об атомах как неделимых мельчайших частицах вещества возникло еще в античные времена (Левкипп, Демокрит, Эпикур, Лукреций). В средние века учение об атомах, будучи материалистическим, не получило широкого признания. Атомистическая теория приобретает все большую популярность лишь к концу XVIII в. благодаря трудам великого русского ученого М.В. Ломоносова, английского химика и физика Д. Дальтона и др. Однако в то время вопрос о строении атомов даже не ставился — они считались неделимыми.

Большой вклад в развитие атомистической теории внес выдающийся русский химик Д.И. Менделеев. Исходя из единой природы атомов, он разработал в 1869 г. Периодическую систему элементов. Выраженная в ней закономерная связь между всеми химическими элементами наталкивала на мысль о том, что в основе строения всех атомов лежит общее свойство: все они находятся в близком родстве друг с другом. Однако до конца XIX в. в химии господствовало метафизическое убеждение: атом — наименьшая частица простого вещества, последний предел делимости материи. При этом предполагалось, что во всех химических превращениях распадаются и вновь создаются только молекулы, а атомы остаются неделимыми, т. е. не могут дробиться на более мелкие части.

Различные предположения о сложной структуре атома долгое время не подтверждались опытами. Лишь проведенные в конце XIX в. эксперименты доказали сложное строение атомов и возможность их взаимного превращения. Активное изучение строения атома началось в 1897 г. после открытия электрона английским физиком Дж. Томсоном. В 1903 г. он предложил *первую модель атома*: атом представляет собой непрерывно заряженный положительным электрическим зарядом шар, внутри которого около своих положений равновесия колеблются электроны; суммар-

ный заряд электронов равен положительному заряду шара, поэтому атом в целом нейтрален. Однако предположение о непрерывном распределении положительного заряда внутри атома не подтвердилось экспериментом.

В развитии представлений о строении атома велико значение опытов английского физика Э. Резерфорда (1871—1937) по рассеянию альфа-частиц в веществе. Альфа-частицы испускаются при радиоактивных превращениях. Их электрический заряд положителен и равен по модулю двойному заряду электрона. Это тяжелые частицы: масса их примерно в 7 300 раз больше массы электрона. Исследуя прохождение альфа-частиц через золотую фольгу, Резерфорд обнаружил, что основная их часть испытывает незначительные отклонения, а некоторые из них (примерно, одна из 20 000) резко отклоняются от первоначального направления — вплоть до 180° . Поскольку электроны не могут существенно повлиять на характер движения столь тяжелых и быстрых альфа-частиц, Резерфорд сделал вывод: значительное отклонение альфа-частиц обусловлено их взаимодействием с положительным зарядом большей массы. Такое отклонение испытывали лишь немногие альфа-частицы, т. е. те, которые оказались вблизи положительного заряда сравнительно небольших размеров.

Анализируя результаты опытов, Резерфорд предложил в 1911 г. *ядерную (планетарную) модель атома*: вокруг положительного ядра, имеющего заряд Ze (Z — порядковый номер элемента в системе Менделеева, e — элементарный заряд), по замкнутым орбитам движутся электроны, образуя электронную оболочку атома. Движущиеся по замкнутым орбитам электроны обладают центростремительным ускорением. Согласно классической электродинамике, ускоренные электроны излучают электромагнитные волны, вследствие чего непрерывно теряют энергию. Поэтому электрон, вращаясь вокруг ядра, излучает энергию. В результате потери энергии, двигаясь по спирали и приближаясь к ядру, он в конце концов упадет на него. Таким образом, атом в модели Резерфорда оказался неустойчивой системой.

Попытки создать модель атома в рамках классической физики не привели к успеху: модель Томсона была опровергнута опытами Резерфорда, планетарная же модель не смогла объяснить устойчивость атомов. Преодоление возникших трудностей требовало принципиально нового подхода.

Постулаты Бора. Первую попытку создать качественно новую модель атома предпринял в 1913г. датский физик Нильс Бор. Он связал в единое целое эмпирические закономерности линейчатого спектра излучения атома водорода, ядерную модель атома Резерфорда и квантовый

характер излучения и поглощения света. В основу своей теории атома Бор положил два постулата.

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по таким орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн.

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией

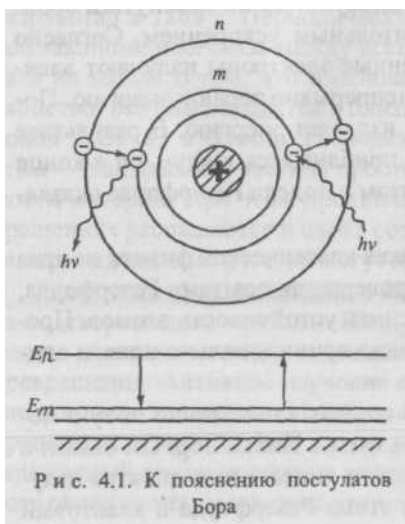
$$h\nu = E_n - E_m,$$

равной разности энергий E_n и E_m , соответствующих стационарным состояниям атома до и после излучения (поглощения).

Переходу электрона со стационарной орбиты с номером m на стационарную орбиту с номером n соответствует переход атома из состояния с энергией E_m в состояние с энергией E_n (рис. 4.1). При $E_n > E_m$ возможен переход атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, т.е. переход электрона с более удаленной от ядра орбиты на более близкую, при котором излучается фотон. Поглощение фотона происходит при переходе атома в состояние с большей энергией, т.е. переход электрона на более удаленную от ядра орбиту.

Набор возможных дискретных частот квантовых переходов

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}$$



определяет линейчатый спектр излучения атома.

Модель атома Бора блестяще объяснила экспериментально наблюдаемый линейчатый спектр излучения атомов водорода. Такой успех достигнут ценой отказа от фундаментального положения классической электродинамики. Поэтому большое значение имело прямое экспериментальное подтверждение справедливости постулатов Бора, особенно первого — о существовании стационарных состояний (второй постулат можно

рассматривать как следствие закона сохранения энергии и гипотезы о существовании фотонов). Существование стационарных состояний и дискретность значений энергии атомов экспериментально подтвердили в 1913 г. немецкие физики Д. Франк и Г. Герц при исследовании взаимодействия электронов с атомами газообразной ртути.

Несмотря на несомненный успех концепции Бора в объяснении структуры атома водорода, для которого удалось создать количественную теорию спектра излучения, построить подобную теорию для следующего за водородом атома гелия на основании модели Бора не удалось. В современном представлении определенные орбиты, по которым движется электрон в атоме Бора, отражает один из этапов в понимании структуры атома. На самом деле движение электронов в атоме различных элементов имеет сложный характер и объясняется в рамках квантово-механической концепции.

4.2. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ

Универсальность корпускулярно-волновой концепции. Французский ученый Луи де Бройль (1892—1987), осозная существующую в природе симметрию и развивая представление о двойственной корпускулярно-волновой природе света, выдвинул в 1923 г. *гипотезу об универсальности корпускулярно-волнового дуализма*:

не только фотоны, но и электроны и любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают волновыми свойствами.

Согласно де Бройлю, любой микрообъект можно описать, с одной стороны, корпускулярными характеристиками — энергией E и импульсом p , а с другой — волновыми характеристиками — частотой ν и длиной волны λ . Формулы, связывающие корпускулярные и волновые свойства частиц, такие же, как и для фотонов:

$$E = h\nu; \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Смелость гипотезы де Бройля заключалась в том, что приведенные формулы постулировались не только для фотонов, но и для микрочастиц, обладающих массой покоя. Таким образом, любой частице с импульсом p соответствует волновой процесс с длиной волны, определяемой *формулой де Бройля*:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

Вскоре гипотезу де Бройля экспериментально подтвердили американские физики К. Дэвиссон (1881—1958) и Л. Джермер (1896—1971), обнаружив дифракцию электронов, рассеивающихся от естественной дифракционной решетки.

Всем микрообъектам присущи и корпускулярные, и волновые свойства: для них существуют потенциальные возможности проявить себя в зависимости от внешних условий либо в виде волны, либо в виде частицы.

Принципы неопределенности и дополнительности. В классической механике всякая частица движется по определенной траектории, так что в любой момент времени можно определить ее координату и импульс. Микрочастицы из-за наличия у них волновых свойств существенно отличаются от классических частиц. Одно из основных различий — нельзя говорить о движении микрочастицы по определенной траектории и об одновременных точных значениях ее координаты и импульса. Это следует из корпускулярно-волнового дуализма. Так, понятие «длина волны в данной точке» лишено физического смысла, а поскольку импульс выражается через длину волны, микрочастица с определенным импульсом имеет неопределенную координату. И наоборот, если микрочастица находится в состоянии с определенным значением координаты, то ее импульс неопределен.

Немецкий физик В. Гейзенберг (1901—1976), учитывая волновые свойства микрочастиц и связанные с волновыми свойствами ограничения в их поведении, пришел в 1927 г. к выводу: любой объект микромира невозможно одновременно с заданной наперед точностью характеризовать и координатой, и импульсом. Он сформулировал *принцип неопределенности*:

микрочастица (микрообъект) не может иметь одновременно определенную координату x и определенный импульс p , причем неопределенности этих величин удовлетворяют условию

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar.$$

Данное соотношение неопределенностей Гейзенберга означает, что произведение неопределенностей координаты x и импульса p не может быть меньше постоянной Планка \hbar . Невозможность одновременно определить в пределах ошибки эксперимента координату и соответствующую ей составляющую импульса не связана с несовершенством методов измерения или измерительных приборов. Это следствие специфики микрообъектов, отражающей особенности их объективных свойств, их двойственной корпускулярно-волновой природы. Соотношение неопределенностей включает классические характеристики движения частицы (координату, импульс) с учетом ее волновых свойств. Поскольку в клас-

сической механике измерение координаты и импульса может быть произведено с заданной точностью, то

соотношение неопределенностей является, таким образом, квантовым ограничением применимости классической механики к микрообъектам.

Соотношение неопределенностей, отражая специфику физики микрочастиц, позволяет оценить, например, в какой мере можно применять понятия классической механики к микрочастицам и, в частности, с какой степенью точности можно определить траекторию микрочастиц, характеризующихся в любой момент времени определенными значениями координат и скорости. Для макроскопических тел волновые свойства не играют существенной роли: их координату и скорость можно одновременно измерить в пределах ошибки эксперимента и для достоверного описания их движения можно пользоваться законами классической механики.

Анализируя принцип неопределенности, некоторые философы пришли к выводу: соотношение неопределенности устанавливает границу познаваемости мира. На самом деле соотношение неопределенностей не ограничивает познание микромира, а только указывает, насколько применимы к нему понятия и законы классической механики.

Для описания микрообъектов Н. Бор сформулировал в 1927 г. *принцип дополнительности*:

получение экспериментальной информации об одних физических величинах, описывающих микрообъект (элементарную частицу, атом, молекулу), неизбежно связано с потерей информации о некоторых других величинах, дополнительных к первым.

Таковыми взаимно дополнительными величинами можно считать, например, координату частицы и ее скорость (или импульс). С физической точки зрения принцип дополнительности часто объясняют влиянием измерительного прибора (макроскопического объекта) на состояние микрообъекта. При точном измерении (имеется в виду измерение в пределах ошибки эксперимента) одной из дополнительных величин (например, координаты частицы) с помощью соответствующего прибора другая величина (импульс) в результате взаимодействия частицы с прибором претерпевает полностью неконтролируемое изменение. С позиции квантовой теории роль прибора в измерениях заключается в «приготовлении» некоторого состояния системы. Состояния, в которых взаимно дополнительные величины имели бы одновременно точно определенные значения, принципиально невозможны, причем если одна из таких величин точно определена, то значения другой неопределенны. Таким образом, фактически принцип дополнительности отражает объективные свойства квантовых систем, не связанные с наблюдателем.

43. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ХАРАКТЕР МИКРОПРОЦЕССОВ

Вероятностные свойства микрочастиц. Экспериментальное подтверждение идеи де Бройля об универсальности корпускулярно-волнового дуализма, ограниченность применения классической механики к микрообъектам, диктуемая принципами дополнительности и неопределенности, а также противоречие некоторых экспериментов, классической теории привели к созданию квантовой механики для описания микрочастиц с учетом их волновых свойств. Ее развитие начиналось в 1900 г., когда М. Планк впервые предложил квантовую гипотезу, и связано с работами физиков Э. Шредингера, В. Гейзенберга, П. Дирака и др.

Отличительная особенность квантовой теории заключается в вероятностном подходе к описанию микрочастиц, который можно пояснить на примере их дифракции. Дифракционная картина характеризуется неоднородным распределением потоков микрочастиц, рассеянных или отраженных по различным направлениям: в одних направлениях наблюдается их большее число, чем в других. Наличие максимумов в дифракционной картине с точки зрения волновой теории означает, что им соответствует наибольшая интенсивность волн де Бройля. Вместе с тем интенсивность таких волн больше там, где большее число частиц, т.е. их интенсивность в данной точке пространства определяет число частиц. Следовательно, дифракционная картина для микрочастиц — это проявление статистических (вероятностных) свойств: частицы попадают в те места, где интенсивность волн де Бройля наибольшая.

Для квантово-механического описания микрообъектов используется волновая функция, впервые введенная в 1926 г. Э. Шредингером. Ее физическую интерпретацию дал немецкий физик М. Борн (1882—1970):

квадрат волновой функции определяет вероятность нахождения частицы в данный момент времени в определенном ограниченном объеме.

Статистическое толкование волн де Бройля и принцип неопределенности Гейзенберга привели к выводу: основным уравнением в квантовой механике, описывающим движение микрочастиц в различных силовых полях, должно быть такое уравнение, из которого вытекают бы наблюдаемые на опыте волновые свойства частиц. Такое уравнение с учетом волновой функции сформулировал в 1926 г. Э. Шредингер. Уравнение Шредингера, как и многие уравнения физики, не выводится, а постулируется. Правильность этого уравнения подтверждается согласием с опытом полученных с его помощью результатов.

Симметрия волновой функции и принцип Паули. Неразличимость тождественных частиц обуславливает симметрию волновой функции. Если при перестановке частиц местами волновая функция не меняет знака, то она называется *симметричной*, если меняет — *антисимметричной*.

ной. Изменение знака волновой функции не означает изменения состояния частиц, поскольку физический смысл имеет лишь квадрат модуля волновой функции. В квантовой механике принято: характер симметрии волновой функции не меняется со временем. Свойство симметрии или антисимметрии — характерный признак определенного класса микрочастиц.

Симметрия или антисимметрия волновых частиц определяется *спином частиц* — их собственным моментом импульса. В зависимости от характера симметрии все элементарные частицы и построенные из них системы (атомы, молекулы) делятся на два класса. Частицы с полуцелым спином (например, электроны, протоны, нейтроны) описываются антисимметричными волновыми функциями и подчиняются статистике Ферми—Дирака; такие частицы называются *фермионами*. Частицы с нулевым или целочисленным спином (например, пимезоны, фотоны), описываемые симметричными волновыми функциями и статистикой Бозе—Эйнштейна, относятся к классу *бозонов*. Сложные частицы (например, атомное ядро), состоящие из нечетного числа фермионов, являются фермионами (суммарный спин — полуцелый), а из четного — бозонами (суммарный спин — целый).

Зависимость характера симметрии волновых функций системы тождественных частиц от спина частиц теоретически обоснована швейцарским физиком В. Паули (1900—1958). Обобщая результаты экспериментов, он сформулировал принцип, согласно которому

системы фермионов встречаются в природе только в состояниях, описываемых антисимметричными волновыми функциями

Это квантово-механическая формулировка *принципа Паули*. Из него следует более простая формулировка, введенная в 1925 г. (еще до создания квантовой механики):

в системе одинаковых фермионов любые два из них не могут находиться в одном и том же состоянии.

Следует отметить, что число однотипных бозонов, находящихся в одном и том же состоянии, не ограничивается.

Состояние электрона в атоме однозначно определяется набором четырех квантовых чисел: главного, орбитального, магнитного и спинового. Распределение электронов в атоме подчиняется принципу Паули. Для атома он формулируется так:

в одном и том же атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором четырех квантовых чисел.

Совокупность электронов в многоэлектронном атоме, имеющих одно и то же главное квантовое число, называется *электронной оболочкой*.

Принцип Паули, определяющий правило заполнения электронных оболочек атомов, позволяет объяснить Периодическую систему элементов Д.И. Менделеева. Расположив химические элементы по мере возрастания порядковых номеров, Д.И. Менделеев обосновал периодичность изменения химических свойств элементов. Наряду с известными в то время 64 химическими элементами некоторые клетки таблицы оказались незаполненными, так как соответствующие им элементы (например, Ga, Se, Ge) тогда еще не были известны. Д.И. Менделеев не только правильно расположил известные элементы, но и предсказал существование новых, еще не открытых элементов и их основные свойства.

Поскольку химические и некоторые физические свойства элементов объясняются внешними (валентными) электронами в атомах, периодичность свойств химических элементов непосредственно зависит от периодичности электронов в атомах. При объяснении последовательного расположения элементов в таблице удобно считать, что каждый атом последующего элемента образуется из предыдущего прибавлением одного протона и соответственно прибавлением одного электрона в электронной оболочке атома. Открытая Д.И. Менделеевым периодичность химических свойств элементов объясняется повторяемостью в структуре внешних оболочек атомов родственных элементов. Периодическая система Д.И. Менделеева — *фундаментальный закон природы*.

Принципы причинности и соответствия. На основании анализа принципа неопределенности некоторые философы пришли к выводу о неприменимости принципа причинности к микропроцессам. В классической механике, согласно принципу причинности, по известному состоянию системы в некоторый момент времени (полностью определенным значениям координат и импульсов всех частиц системы) и силам, приложенным к ней, можно описать ее состояние в любой последующий момент. В классическом представлении принцип причинности означает:

состояние механической системы в начальный момент времени с известным законом взаимодействия частиц есть причина, а ее состояние в последующий момент — следствие.

Совсем другая ситуация с микрообъектами: они в соответствии с принципом неопределенности не могут характеризоваться одновременно определенными координатой и импульсом, откуда следует вывод: в начальный момент времени состояние системы точно не определено. Если же начальное состояние системы не определено, то нельзя предсказать ее последующие состояния, а это означает, что нарушается принцип причинности. Однако в реальном случае никакого нарушения нет, поскольку в квантовой механике понятие состояния микрообъекта имеет совершен-

но другой смысл, чем в классической механике. В квантовой механике состояние микрообъекта полностью определяется волновой функцией в данный и последующие моменты времени. Таким образом,

состояние системы микрочастиц, определяемое в квантовой механике, однозначно вытекает из предшествующего состояния, как того требует принцип причинности.

В становлении квантово-механических представлений важную роль сыграл выдвинутый Н. Бором в 1923 г. *принцип соответствия*:

всякая новая более общая теория, являющаяся развитием классической, не отвергает ее полностью, а включает в себя, указывая границы ее применения, причем в определенных предельных случаях новая теория переходит в старую.

Так, формулы кинематики и динамики релятивистской механики переходят при скоростях, много меньших скорости света в вакууме, в формулы механики Ньютона. Волновыми свойствами обладают все тела, однако для макроскопических тел ими можно пренебречь, т.е. для них применима классическая механика.

Практические аспекты квантово-механической концепции. Квантово-механическая концепция, описывающая, казалось бы, загадочный и далекий от обычных представлений микромир, все активнее вторгается в практические сферы человеческой деятельности. Появляется все больше приборов, основанных на квантово-механических принципах — от квантовых генераторов (лазеров, мазеров и др.) до многообразных микроэлектронных устройств. Видимо, пришел черед и вычислительной техники — предполагается, что компьютеры, построенные на квантовых вычислительных элементах, совершат переворот в разработке современных мощных вычислительных средств. Вполне возможно, что через какое-то время квантовый компьютер станет инструментом, столь же привычным, как сегодня обычный компьютер.

4.4. СОВРЕМЕННЫЕ АТОМНЫЕ СИСТЕМЫ

К современным объектам изучения атомной физики относятся не только атомы с их сложным строением, но и различные атомные системы с необычной структурой, определяющей их уникальные химические и физические свойства. К таким атомным системам относятся эксимерные молекулы, кластеры, фуллерены, углеродные нанотрубки и др.

Эксимерные молекулы существуют только в возбужденном состоянии. Известно, что атомы благородных газов, как правило, не образуют химических соединений. Исключение составляют фториды криптона и ксенона, а также некоторые их производные, синтезированные в послед-

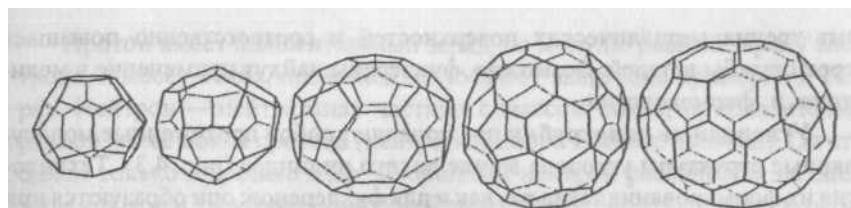
ние десятилетия. Такое свойство благородных газов объясняется тем, что их атомы не имеют электрона в незаполненных оболочках, который мог бы составить пару электрону другого атома с противоположным спином. Наличие подобной пары является необходимым условием образования ковалентной химической связи, обеспечивающей стабильность химического соединения. В возбужденном состоянии атома благородного газа электрон занимает одну из незаполненных оболочек и может составить пару электрону другого атома, что дает возможность образования молекулы с атомом благородного газа. Такие молекулы называются *эксимерными*.

Эксимерная молекула, потенциальная энергия которой превышает энергию основного состояния, не может существовать долго. Она распадается в течение нескольких наносекунд, излучая световой квант. Несмотря на непродолжительное время жизни, эксимерная молекула имеет все признаки химического соединения. Она обладает колебательными и вращательными степенями свободы и способна вступать в химические реакции. Главная особенность эксимерных молекул состоит в том, что они представляют собой готовую активную среду для создания *эксимерных лазеров* — мощных квантовых генераторов ультрафиолетового излучения.

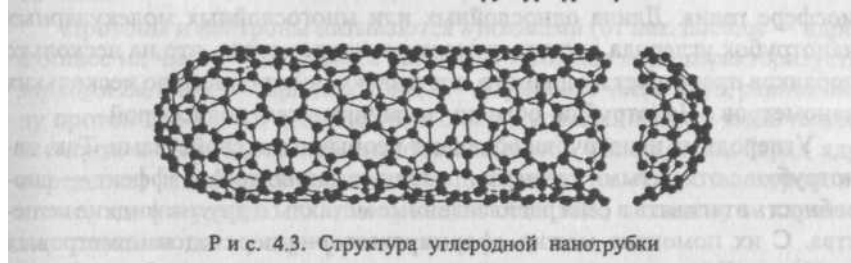
Кластеры занимают промежуточное положение между молекулярным и конденсированным состоянием вещества. Возникает вопрос: как много атомов необходимо собрать вместе, чтобы полученное образование обладало свойствами конденсированного вещества? Этот вопрос привлек внимание исследователей к изучению объектов, названных кластерами, состоящих из относительно небольшого количества атомов или молекул. Кластеры получаются при охлаждении газа в результате его расширения в сверхзвуковом сопле. Возможен и другой способ их получения: при взаимодействии сфокусированного источника энергии (лазерного луча, либо пучка заряженных частиц высокой энергии) с веществом, находящимся в конденсированном состоянии, образуется своеобразная среда, содержащая кластеры различных размеров.

Кластеры находят практическое применение в современной нанотехнологии. При осаждении потока кластеров на подложку можно сформировать элемент электронной схемы, размеры которого составляют десятки нанометров, и получить, например, полупроводниковую зону чрезвычайно малых размеров.

Фуллерены — новая разновидность многоатомных молекул углерода, открытая в результате экспериментального исследования структур кластеров. Молекула фуллеренов состоит из большого числа (от 32 до 90) атомов углерода. Структура фуллерена представляет собой замкнутую поверхность сферы или сфероида, состоящую из правильных шести- и



Р и с. 4.2. Разновидности структур фуллеренов



Р и с. 4.3. Структура углеродной нанотрубки

пятиугольников с атомами углерода в их вершинах (рис. 4.2). Число пятиугольников всегда равно 12, а число шестиугольников может быть различным. Наиболее устойчивой оказалась молекула C_{60} с двадцатью шестиугольниками. За открытие фуллеренов английскому ученому Гарольду Крото и двум его американским коллегам — Роберту Керлу и Ричарду Смэллу — присуждена Нобелевская премия по химии 1996 г. Это открытие, как иногда случается в науке, не было результатом целенаправленного поиска. К нему привели многолетние работы по исследованию кластеров и расшифровке спектральных линий поглощения межзвездного вещества.

В результате реакции присоединения водорода по ненасыщенным связям углерода при высоких давлениях и температурах можно создать модификацию фуллеренов с исключительно высокой удельной емкостью по водороду, что представляет практический интерес при разработке эффективных аккумуляторов водорода. Фуллерены обладают высокой химической активностью и способны образовывать множество новых химических соединений с необычными свойствами. Химические соединения фуллеренов, в состав которых входят шестичленные кольца углерода с одинарными и двойными связями, образуют трехмерный аналог ароматических веществ. Кристаллы фуллеренов — полупроводники с фотопроводимостью в видимой области спектра излучения. Легированные атомами щелочных металлов, фуллерены обладают сверхпроводимостью при температуре 18—40 К. Использование фуллеренов в качестве присадки к смазочному маслу существенно (до 100 раз) снижает коэффици-

ент трения металлических поверхностей и соответственно повышает срок службы деталей. Возможно, фуллерены найдут применение в медицине и фармакологии.

Углеродные нанотрубки представляют собой протяженные молекулярные структуры углерода в виде полого цилиндра (рис. 4.3). Технология их формирования такая же, как и для фуллеренов: они образуются при термическом распылении графитового анода в электрической дуге в атмосфере гелия. Длина однослойных или многослойных молекулярных нанотрубок углерода достигает десятков микрометров, что на несколько порядков превышает их диаметр, составляющий от одного до нескольких нанометров. Нанотрубки обычно заканчиваются полусферой.

Углеродные нанотрубки обладают необычными свойствами. Так, нанотрубки с открытыми концами проявляют капиллярный эффект — способность втягивать в себя расплавленные металлы и другие жидкие вещества. С их помощью можно сформировать *p-n*-переход нанометровых размеров. Благодаря чрезвычайно малому поперечному размеру нанотрубки, с ее помощью можно усилить электрическое поле. Электрические свойства нанотрубок в сочетании с высокой прочностью открывают возможность их использования в качестве материала для зонда сканирующего микроскопа, что позволяет существенно повысить его разрешающую способность.

Таким образом, рассмотренные атомные системы могут составить основу для синтеза новых перспективных материалов — материалов XXI в. с уникальными физическими и химическими свойствами.

4.5. ЯДЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Строение атомного ядра. Примерно через 20 лет после того как Резерфорд «разглядел» в недрах атома ядро, был открыт *нейтрон* — частица, похожая на ядро атома водорода — протон, но без электрического заряда. С открытием нейтронов появилась возможность экспериментально исследовать структуру и свойства ядра — нейтронами удобно бомбардировать ядро: электрическое поле ядра не отталкивает их, и даже медленные нейтроны могут беспрепятственно приближаться к нему на такое расстояние, при котором проявляется сильное взаимодействие, т.е. возникают ядерные силы притяжения.

Из опытов Резерфорда следовало, что размер ядра атома 10^{-14} — 10^{-15} м (размер атома — около 10^{-10} м). Атомное ядро состоит из *протонов* и *нейтронов*. Протонно-нейтронная модель ядра предложена известным российским физиком Д.Д. Иваненко (1904—1994), профессором МГУ им. М.В. Ломоносова, и затем развита В. Гейзенбергом.

Протон имеет положительный заряд, по модулю равный заряду электрона, и массу покоя, превосходящую массу электрона примерно в 1836 раз. Нейтрон — нейтральная частица с массой покоя, приблизительно равной массе покоя протона (нейтрон немного тяжелее протона). Он стабилен только в составе ядер. Свободный нейтрон распадается на электрон, протон и электронное антинейтрино. Его период полураспада около 12 мин.

Протоны и нейтроны называются *нуклонами* (от лат. nucleus — ядро), а общее их число — *массовым числом* A . Атомное ядро характеризуется *зарядом* Ze , где e — заряд протона, Z — *зарядовое число* ядра, равное числу протонов в ядре и совпадающее с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов Менделеева. Заряд ядра определяет специфику химического элемента, т.е. число электронов в атоме, конфигурацию их электронных оболочек, величину и характер внутриатомного электрического поля.

Ядро обозначается тем же символом, что и нейтральный атом: A_ZX , где X — символ химического элемента. Ядра с одинаковыми значениями Z , но разными A (т.е. с разными числами нейтронов $N = A - Z$) называются *изотопами*, а ядра с одинаковыми значениями A , но разными Z — *изобарами*. Например, водород ($Z = 1$) имеет три изотопа: ${}^1_1\text{H}$ — протий ($Z = 1, N = 0$), ${}^2_1\text{H}$ — дейтерий ($Z = 1, N = 1$), ${}^3_1\text{H}$ — тритий ($Z = 1, N = 2$). В подавляющем большинстве случаев изотопы одного и того же химического элемента обладают одинаковыми химическими и почти одинаковыми физическими свойствами (исключение составляют лишь некоторые изотопы, например изотопы водорода).

Связь нуклонов в ядре обеспечивают *ядерные силы*, намного превышающие силы других фундаментальных взаимодействий. Основные свойства ядерных сил: короткодействие, зарядовая независимость, ядерные силы — силы только притяжения, насыщение, зависимость от взаимной ориентации спинов нуклонов и др.

Весьма сложный характер ядерных сил и трудность точного решения уравнений движения всех нуклонов ядра не позволили пока разработать единую последовательную теорию атомного ядра.

Дефект массы и энергия связи ядра. Масс-спектроскопические измерения показывают, что масса ядра меньше суммы масс составляющих его нуклонов. Разность суммы масс нуклонов и массы ядра называется *дефектом массы* m . Поскольку всякому изменению массы соответствует изменение энергии, при образовании ядра выделяется энергия. Из закона сохранения энергии следует и обратное: для разделения ядра на составные части необходимо затратить такое же количество энергии, которое выделяется при его образовании. Энергия, которую необходимо за-

тратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны, называется *энергией связи ядра* $E_{св}$. Она определяется формулой

$$E_{св} = mc^2,$$

где c — скорость света.

Обычно рассматривают *удельную энергию связи* — среднюю энергию связи, приходящуюся на один нуклон. Она характеризует устойчивость (прочность) атомных ядер (чем больше удельная энергия связи, тем устойчивее ядро) и зависит от массового числа A . Для легких ядер ($A \leq 12$) с увеличением A удельная энергия связи круто возрастает до 6 — 7 МэВ (1 МэВ = 10^6 эВ), претерпевая ряд скачков, затем сравнительно плавно увеличивается до максимального значения 8,7 МэВ для элементов с $A = 50 - 60$, а потом постепенно уменьшается; например, для изотопа тяжелого элемента урана-238 она составляет 7,6 МэВ (для сравнения отметим, что энергия связи валентных электронов в атомах около 10 эВ (приблизительно в 10^6 раз меньше!). Уменьшение удельной энергии связи при переходе к тяжелым элементам объясняется тем, что с возрастанием числа протонов в ядре увеличивается энергия их кулоновского отталкивания. Поэтому связь между нуклонами ослабевает, и сами ядра становятся менее прочными.

Наиболее устойчивыми с энергетической точки зрения оказываются ядра элементов средней части таблицы Менделеева. Тяжелые и легкие ядра менее устойчивы. Это означает, что энергетически выгодны два ядерных процесса:

- 1) деление тяжелых ядер на более легкие (цепная реакция);
- 2) слияние легких ядер и образование более тяжелых (синтез ядер).

Оба процесса практически реализованы в виде соответственно цепной реакции деления и термоядерного синтеза. Они сопровождаются выделением огромного количества энергии.

Радиоактивность. В 1896 г. французский физик А.А. Беккерель (1852—1908) при исследовании люминесценции солей урана обнаружил самопроизвольное излучение неизвестной природы, которое действовало на фотопленку, ионизировало воздух, проникало через тонкие металлические пластинки, вызывало люминесценцию ряда веществ. Немного позднее французские ученые, супруги Кюри — Мария (1867—1934) и Пьер (1859—1906) — наблюдали подобное излучение и для других веществ — тория и актиния. Обнаруженное излучение было названо *радиоактивным*, а сама способность его самопроизвольного испускания — *радиоактивностью*. За открытие радиоактивности Пьер Кюри, Мария

Склодовская-Кюри и А. Беккерель удостоены Нобелевской премии по физике 1903 г.

Дальнейшее исследование показало, что радиоактивное излучение не зависит от состава химического соединения, его агрегатного состояния, давления, температуры, т.е. от тех факторов, которые связаны с изменением состояния электронной оболочки атома. Поэтому был сделан вывод: радиоактивные свойства элементов обуславливаются структурой атомного ядра.

В современном представлении *радиоактивность* — способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием различных видов радиоактивных излучений и элементарных частиц. Различают радиоактивность *естественную*, наблюдаемую для существующих в природе неустойчивых изотопов, и *искусственную* — для изотопов, полученных посредством ядерных реакций. Принципиального физического различия между ними нет: для них характерны одни и те же закономерности радиоактивного превращения.

Известны три основных вида радиоактивного излучения: альфа-, бета- и гамма-излучение. *Альфа-излучение* отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и слабой проникающей способностью (поглощается, например, слоем алюминия толщиной примерно 0,05 мм). Оно представляет собой поток ядер гелия. Заряд альфа-частиц положителен и по модулю равен двойному заряду электрона.

Бета-излучение также отклоняется электрическим и магнитным полями. Оно характеризуется сравнительно слабой ионизирующей способностью и относительно высокой проникающей способностью (поглощается слоем алюминия толщиной около 2 мм). Одна из разновидностей бета-излучения — поток быстрых электронов.

Гамма-излучение не отклоняется ни электрическим, ни магнитным полем, обладает сравнительно слабой ионизирующей способностью и очень высокой проникающей способностью (проходит через слой свинца толщиной 5 см). Гамма-излучение — это коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны (не более 10^{-10} м), что и обуславливает его чрезвычайно высокую проникающую способность.

Естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно, называется *радиоактивным распадом*. Скорость радиоактивного распада определяется *законом радиоактивного распада*:

число нераспавшихся ядер N убывает со временем по экспоненте:

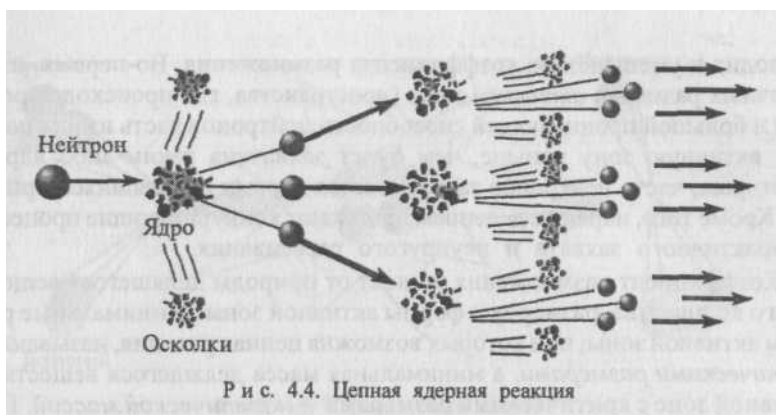
$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 — начальное число нераспавшихся ядер (в момент времени $t = 0$); N — число нераспавшихся ядер в момент времени t ; λ — постоянная радиоактивного распада.

Постоянная радиоактивного распада характеризует вероятность распада отдельного ядра в единицу времени, а обратная ей величина — среднее время его жизни. Время, в течение которого исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое, называется *периодом полураспада*.

Цепная реакция деления. Наблюдению цепной реакции деления ядер предшествовало открытие *нейтрона* — нейтральной частицы, не испытывающей кулоновского отталкивания и поэтому легко проникающей в ядро. Интересна история открытия нейтрона. В 1930 г. немецкие физики В. Боте и Г. Беккер, облучая бериллий альфа-частицами, обнаружили излучение высокой проникающей способности. Поскольку сильно проникающими могут быть только нейтральные частицы, было предположено, что обнаруженное излучение — жесткие гамма-лучи. Дальнейшие эксперименты показали, что наблюдаемое излучение, взаимодействуя с водородосодержащими соединениями, выбивает протоны, а из расчетов следовало, что предполагаемые гамма-кванты должны обладать необычно большой энергией, что вызывало сомнение. При объяснении полученных результатов эксперимента английский физик Д. Чедвик (1891—1974) в 1932 г. сделал вывод: новое проникающее излучение представляет собой не гамма-кванты, а поток тяжелых нейтральных частиц, названных им нейтронами.

Характер ядерных реакций под действием нейтронов зависит от их скорости (энергии). В зависимости от энергии нейтроны условно делят на две группы: медленные и быстрые. Нейтроны с энергией до 10^4 эВ — медленные, а с энергией, большей 10^4 эВ, — быстрые. Медленные нейтроны эффективны для возбуждения ядерных реакций: они могут находиться относительно долго вблизи атомного ядра. Однако их энергия сравнительно мала, поэтому они не могут вызвать неупругое рассеяние. В то же время быстрые нейтроны способны превратить один радиоактивный изотоп в другой.



К началу 40-х годов XX в. работами многих ученых: Э. Ферми (1901—1954) (Италия), О. Гана (1879—1968), Ф. Штрассмана (1902—1980) (ФРГ), О. Фриша (1904—1979) (Великобритания), Л. Майтнер (1878—1978) (Австрия), Г.Н. Флерова (1913—1990), К.А. Петржака (р. 1910) (СССР) и др., — было доказано, что при облучении урана нейтронами образуются ядра атомов химических элементов из середины Периодической таблицы Менделеева — лантана и бария. Этот результат положил начало новому виду реакций — реакциям деления ядер, при которых тяжелое ядро под действием нейтронов и других частиц делится на несколько легких ядер (осколков), чаще всего на два ядра, близких по массе. Деление ядер сопровождается испусканием двух-трех вторичных нейтронов, называемых нейтронами деления. Расчет цепной реакции деления урана произвели наши соотечественники физики Ю.Б. Харитон (1904—1996) и Я.Б. Зельдович (1914—1987) и др.

Деление ядер сопровождается выделением чрезвычайно большого количества энергии. На самом деле, удельная энергия связи ядер средней массы составляет примерно 8,7 МэВ, в то время как для тяжелых ядер — около 7,6 МэВ. Следовательно, при делении тяжелого ядра на два осколка должна высвобождаться энергия 1,1 МэВ на один нуклон. Эксперименты подтверждают, что при каждом акте деления ядер действительно выделяется огромная энергия, которая распределяется между осколками (основная доля), нейтронами деления и продуктами последующего распада осколков деления.

Испускаемые при делении ядер вторичные нейтроны могут вызвать последующие новые акты деления — возникает *цепная реакция деления* (рис. 4.4). Она характеризуется *коэффициентом размножения к нейтронов*, равным отношению числа нейтронов в данном поколении к их числу в предыдущем поколении. В процессе ядерной реакции не все образующиеся вторичные нейтроны вызывают последующее деление ядер, что

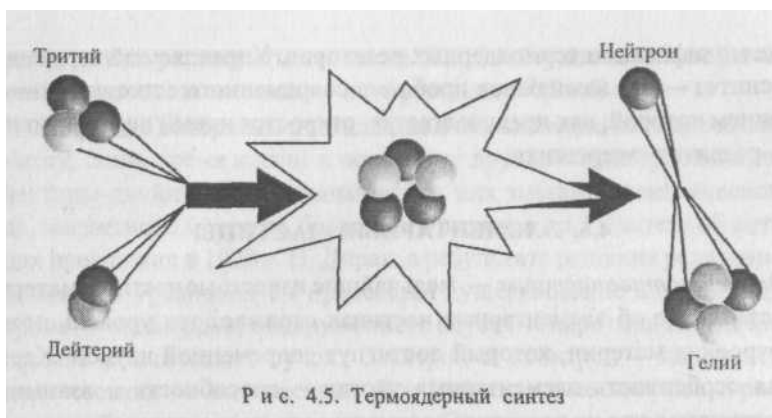
приводит к уменьшению коэффициента размножения. Во-первых, из-за конечных размеров *активной зоны* (пространства, где происходит реакция) и большой проникающей способности нейтронов часть из них покидает активную зону раньше, чем будет захвачена каким-либо ядром. Во-вторых, часть нейтронов захватывается ядрами неделящихся примесей. Кроме того, наряду с делением протекают конкурирующие процессы радиоактивного захвата и неупругого рассеивания.

Коэффициент размножения зависит от природы делящегося вещества, его количества, размеров и формы активной зоны. Минимальные размеры активной зоны, при которых возможна цепная реакция, называются *критическими размерами*, а минимальная масса делящегося вещества в активной зоне с критическими размерами — *критической массой*. При $k > 1$ цепная реакция ускоряется: число делений быстро возрастает и ядерный процесс становится взрывным. Условие $k = 1$ соответствует самоподдерживающейся реакции, при которой число нейтронов со временем не изменяется. При $k < 1$ цепная реакция деления ядер замедляется.

Различают управляемые и неуправляемые цепные реакции деления ядер. При взрыве атомной бомбы происходит *неуправляемая реакция*. При хранении атомной бомбы, чтобы она не взорвалась, находящееся в ней радиоактивное вещество делится на две части с некритическими массами. Для взрыва атомной бомбы обе части сближаются, общая масса делящегося вещества становится критической и при этом возникает неуправляемая цепная реакция, сопровождающаяся мгновенным выделением огромного количества энергии. *Управляемые цепные реакции* осуществляются в ядерных реакторах атомных электростанций.

В природе существуют изотопы, которые могут служить ядерным топливом (уран-235: в естественном уране его содержится примерно 0,7%) или сырьем для его получения (торий-232 и уран-238, содержание которого в естественном уране составляет около 99,3%). В процессе цепной реакции деления возможно воспроизводство ядерного топлива.

Термоядерный синтез. Колоссальным источником энергии обладает *реакция синтеза атомных ядер* — образование из легких ядер более тяжелых. Удельная энергия связи резко увеличивается при переходе от ядер тяжелого водорода (дейтерия и трития) к ядрам лития и особенно гелия, т.е. реакция синтеза легких ядер в более тяжелые, сопровождающаяся выделением огромного количества энергии. Энергии, приходящейся на один нуклон, в реакции синтеза значительно больше, чем в реакции деления тяжелых ядер. Синтез легких ядер возможен только при сравнительно большой их кинетической энергии, достаточной для преодоления электростатического отталкивания и сближения их на расстояния, при которых проявляются ядерные силы притяжения. Очевидно,



энергетически выгоден синтез легких ядер с небольшим электрическим зарядом. Такими ядрами являются изотопы водорода. Однако для осуществления реакции синтеза даже для изотопов водорода необходима чрезвычайно высокая температура — не менее 10^7 К, поэтому процесс слияния ядер называется реакцией *термоядерного синтеза*. На рис. 4.5 схематически изображена реакция термоядерного синтеза изотопов трития и дейтерия с образованием ядер гелия.

Искусственная реакция термоядерного синтеза осуществлена впервые в СССР — в 1953 г., а затем (через полгода) в США при взрыве водородной (термоядерной) бомбы. Это была неуправляемая реакция синтеза. Взрывчатое вещество водородной бомбы представляет собой смесь дейтерия и трития, а детонатором в ней служит обычная атомная бомба, при взрыве которой возникает высокая температура, необходимая для термоядерного синтеза.

Трудность практической реализации управляемого термоядерного синтеза заключается в том, что он возможен при очень высокой температуре, при которой любое синтезируемое вещество находится в плазменном состоянии, и возникает техническая проблема его удержания в ограниченном объеме. Над решением проблемы управляемого термоядерного синтеза усердно работают ученые многих стран в течение нескольких последних десятилетий. Один из способов ее решения — удержание горячей плазмы в ограниченном объеме сильными магнитными полями. Этот способ предложили наши соотечественники физики-теоретики А.Д. Сахаров (1921—1989), И.Е. Тамм (1895—1971) и др. Для удержания плазмы создаются сложнейшие в техническом исполнении термоядерные реакторы. Один из них — Токамак-10, впервые созданный в 1975 г. в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. В последнее время сооружаются

новые модификации термоядерных реакторов. Управляемый термоядерный синтез — это важнейшая проблема современного естествознания, с решением которой, как предполагается, откроется новый перспективный путь развития энергетики.

4.6. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Элементарные частицы — мельчайшие известные частицы материи. Представление об элементарных частицах отражает тот уровень познания строения материи, который достигнут современной наукой. Характерная особенность элементарных частиц — способность к взаимным превращениям, что не позволяет рассматривать их как простейшие, неизменные «кирпичики мироздания», подобные атомам Демокрита. К настоящему времени обнаружено несколько сотен элементарных частиц, включающих и античастицы. Из них стабильны фотон, электронное, мюонное и таонное нейтрино, электрон, протон и их античастицы. Остальные элементарные частицы самопроизвольно распадаются за время от 10^3 с для свободного нейтрона до 10^{22} — 10^{-14} с для резонансов. Однако нельзя считать, что нестабильные частицы состоят из стабильных хотя бы потому, что одна и та же частица может распадаться несколькими способами на различные элементарные частицы.

Некоторые элементарные частицы обладают необычными, а в ряде случаев и загадочными свойствами. Например, долгое время считалось, что своеобразная частица *нейтрино* не имеет массы. Эта частица была открыта теоретически. Еще в тридцатые годы XX в. при изучении бета-распада было обнаружено, что распределение по энергиям электронов, испускаемых радиоактивными ядрами, не дискретно, а непрерывно. Из этого следовало, что либо не выполняется закон сохранения энергии, либо при бета-распаде, помимо электронов, испускаются еще и какие-то труднорегистрируемые частицы, подобные фотонам с нулевой массой покоя и уносящие часть энергии. Предполагалось, что это нейтрино. Однако экспериментально зарегистрировать нейтрино удалось лишь в 1956 г. на огромных подземных установках. Сложность их регистрации заключается в том, что захват частиц нейтрино происходит чрезвычайно редко из-за их чрезвычайно высокой проникающей способности. В дальнейшем кроме электронного нейтрино зарегистрированы антинейтрино, мюонное и таонное нейтрино. Совсем недавно в ходе экспериментов по изучению двойного бета-распада, проводимых в итальянской подземной лаборато-

164

рии, удалось установить, что масса покоя нейтрино все же не равна нулю, хотя относительно мала — не превышает 0,2 эВ.

Не менее интересны и загадочны *античастицы*, которые имеют ту же массу, спин, время жизни и некоторые другие характеристики, что и их частицы-двойники, но отличаются от них знаками электрического заряда, магнитного момента, барионного заряда и др. Гипотезу об античастицах предложил в 1928 г. П. Дирак: в результате решения релятивистского волнового уравнения он предсказал существование античастицы электрона — *позитрона*, обнаруженного спустя четыре года К. Андерсоном в составе космических лучей. Электрон и позитрон — не единственная пара частица — античастица. Все элементарные частицы, кроме нейтральных, имеют свои античастицы. При столкновении частицы и античастицы происходит их *аннигиляция*, при которой образуются другие элементарные частицы или фотоны. Например, в результате аннигиляции пары электрон — позитрон рождаются фотоны.

Специфическая характеристика элементарных частиц — *четность* — это квантовое число, определяющее симметрию волновой функции относительно зеркального отражения. Если при зеркальном отражении волновая функция частицы не меняет знака, то ее четность положительна, если меняет знак — отрицательна. Это квантова-механическая характеристика подчиняется *закону сохранения четности*:

при всех превращениях системы частиц четность состояния не изменяется.

Сохранение четности связано со свойством зеркальной симметрии пространства и указывает на инвариантность законов природы при замене правого левым, и наоборот.

Проведенное в 1956 г. исследование К-мезонов привело американских физиков Т. Ли и Ч. Янга, лауреатов Нобелевской премии по физике 1957 г., к выводу: в слабых взаимодействиях закон сохранения четности может нарушаться, — что подтвердилось в дальнейшем экспериментально. В то же время *закон сохранения четности выполняется для сильного и электромагнитного взаимодействий*.

Число обнаруженных элементарных частиц со временем увеличивается. В частности, сравнительно недавно сообщалось о том, что зарегистрирована еще одна частица. Вместе с обнаружением новых элементарных частиц продолжается поиск фундаментальных частиц, которые могли бы служить составными «кирпичиками» для построения известных частиц. Гипотеза о существовании подобного рода частиц, названных *кварками*, была высказана в 1964 г. американским физиком М. Гелл-Маном, удо-

стоенным Нобелевской премии 1969 г. Название «кварк» заимствовано из фантастического романа ирландского писателя Дж. Джойса «Поминки по Финнегану» (герою снится сон, в котором чайки кричат: «Три кварка для мастера Марка»). Одна из отличительных особенностей кварков заключается в том, что они имеют дробные электрические заряды. Эта особенность необычна и удивительна, поскольку до сих пор никто не обнаружил частиц с такими зарядами. В свободном состоянии кварки не наблюдались. Однако кварковая модель оказалась весьма плодотворной — она позволила определить квантовые числа многих элементарных частиц.

4.7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ МИКРОМИРА

Современные ускорители. Одним из основных технических средств экспериментального исследования свойств объектов микромира являются ускорители заряженных частиц. Полученные в ускорителе управляемые пучки частиц — подходящий инструмент для проведения операций внутри атомов и атомных ядер, для исследования свойств и структуры элементарных частиц. Для подобных исследований нужна энергия ускоренных частиц в десятки, сотни и даже тысячи гигаэлектронвольт ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$). В этой связи область фундаментальных исследований строения материи неслучайно называется *физикой высоких энергий*.

Если ускорители заряженных частиц высокой энергии создавались бы по принципу телевизионной трубки, т.е. линейными, то, как показывают расчеты, их размеры достигали бы многих сотен километров. Поэтому рабочую камеру ускорителя изготавливают в форме огромного тора, для многократного прохождения частицами участков, на которых периодически включается ускоряющее электрическое поле. Чем выше энергия частиц, тем труднее направить их по круговой траектории, тем сильнее должно быть магнитное поле, искривляющее траекторию движения заряженных частиц. Кроме того, одноименно заряженные частицы в пучке взаимно отталкиваются и рассеиваются на микрообъектах остаточной атмосферы в вакуумной камере ускорителя. Поэтому наряду с магнитами, поле которых обеспечивает круговое движение частиц, нужны магниты, фокусирующие и сжимающие их в узкий пучок. Максимальная энергия современных ускорителей определяется в значительной степени размерами и, следовательно, стоимостью довольно громоздкой магнитной системы.

Сформированный ускорителем пучок заряженных частиц (обычно электронов или гораздо более тяжелых протонов) направляют на специально подобранную, исходя из задач эксперимента, мишень, при соударении с которой рождается множество разнообразных вторичных частиц. С помощью сложнейших систем — детекторов — такие частицы регистрируются, определяются их масса, электрический заряд, скорость и многие другие характеристики. Затем в результате математической обработки исходных экспериментальных данных с помощью ЭВМ определяются траектория движения и картина взаимодействия ускоренных частиц с веществом мишени. И наконец, при сопоставлении полученных экспериментальных результатов с предварительно рассчитанными воспроизводится картина взаимодействия частиц. Именно таким сложным путем и добываются новые знания о свойствах исследуемых элементарных частиц.

В современных ускорителях вместо неподвижной мишени часто используется встречный ускоренный пучок частиц. Подобные ускорители на встречных пучках называются *коллайдерами*. К настоящему времени построено несколько коллайдеров: в США, Японии, Германии и в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Швейцарии.

В разработке и строительстве ускорителей заряженных частиц наша страна многие годы лидировала. Были построены в 1956 г. синхрофазотрон в Дубне (энергия 10 ГэВ, длина орбиты частиц около 200 м) и затем в 1967 г. синхротрон (ускоритель У-70) в городе Протвино близ Серпухова (энергия 70 ГэВ, длина орбиты 1,5 км). Отечественный ускоритель У-70 и поныне остается крупнейшим в России. На нем проводят исследования физики из многих лабораторий нашей страны и стран СНГ и выполняются совместно с западными учеными физические программы. В ходе его реконструкции для начальной стадии ускорения был установлен первый в мире линейный ускоритель с высокочастотной фокусировкой (без магнитов) и введен в действие «промежуточный» синхротрон диаметром 30 м, рассчитанный на энергию 1,5 ГэВ.

В 1983 г. в Протвино начались работы по сооружению ускорительно-накопительного комплекса (УНК), рассчитанного на энергию 3000 ГэВ, вдвое превышающую энергию наиболее мощного в мире ускорителя, установленного в лаборатории им. Э. Ферми (ФНАЛ) в США. Для УНК построили кольцевой тоннель длиной 21 км и диаметром около 5 м (по размерам он сопоставим с кольцевой линией московского метро). В нем планировали установить сверхпроводящие магниты. Однако с распадом СССР хозяйственные связи прервались, и завод в Усть-Каменогорске, где производили сверхпроводящий материал, оказался за рубежом. Было ре-

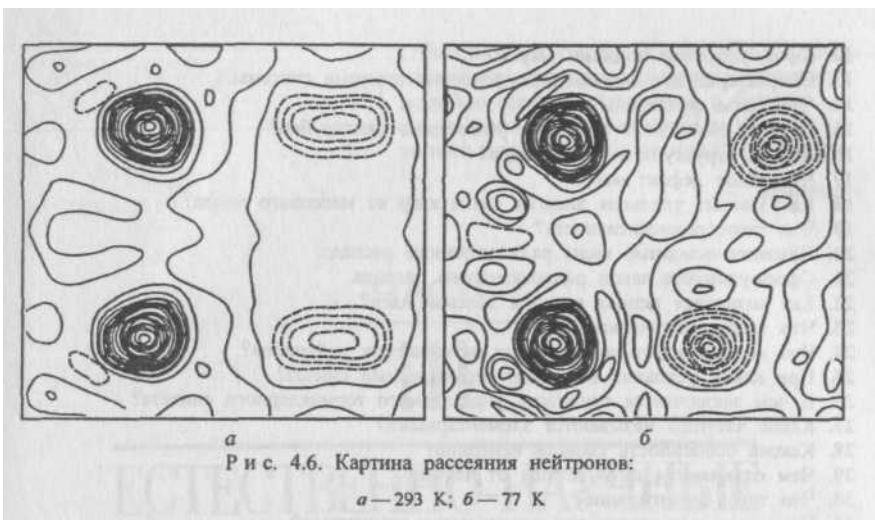
шено пустить первую очередь новой установки, используя обычные магниты, что обеспечило бы энергию только 600 ГэВ (ее называли У-600). Для этого необходимо установить по кольцу более двух тысяч магнитов массой около 10 т каждый, что оценивается примерно в 150 млн. долл. и составляет лишь малую часть от уже вложенных средств.

В конце 80-х годов XX в. в США начато сооружение самого крупного в мире ускорителя — сверхпроводящего суперколлайдера (с 80-километровой длиной орбиты частиц), рассчитанного на энергию протонов 20 ТэВ ($20 \cdot 10^{12}$ эВ). Однако в 1993 г. Конгресс США принял решение о прекращении его строительства, хотя уже потрачено около двух миллиардов долларов и прорыт в Техасе тоннель длиной 24 км.

Планируется завершить примерно лет через десять сооружение в Женеве самого крупного в мире ускорителя заряженных частиц — большого адронного коллайдера — в 27-километровом подземном тоннеле. Физики надеются, что при немыслимых сегодня энергиях сталкивающихся частиц (порядка 10 ТэВ) удастся получить важные сведения о глубинных процессах. На таком гигантском ускорителе и размеры детекторов поражают воображение. Один из них, самый крупный, представляет собой сложнейшее в техническом исполнении устройство цилиндрической формы длиной 26 и диаметром 20 м, массой около 7 тыс. т. Его разработкой занималась международная группа ученых (примерно 1,5 тыс. человек) из трех десятков стран: США, России, Японии, Франции, Англии и др. Детектор в рабочем режиме будет выдавать поток информации, по объему сравнимый с циркулирующей сегодня во всех европейских компьютерных сетях.

Структурная нейтронография. Стремясь проникнуть в глубину материи и изучить ее структуру, исследователи создавали все более совершенные приборы и методы. На смену оптическому микроскопу пришел электронный с несравненно более высоким разрешением. Рентгеноструктурный анализ позволил «увидеть» форму атомной решетки кристалла и даже проследить за ее деформацией при внешнем воздействии, например, при изменении температуры и давления. Сравнительно недавно созданы, развиты и усовершенствованы новые методы изучения свойств вещества, основанные на рассеянии нейтронов.

Нейтрон, как и любая другая частица, обладает свойством волны. Поэтому поток нейтронов можно рассматривать как коротковолновое излучение (характерная длина волны — порядка 0,03 нм). Проходя через вещество, нейтроны испытывают дифракцию в результате рассеяния их на отдельных атомах. Направление и интенсивность отраженных лучей зависят от строения рассеивающего объекта. Измеряя углы рассеяния нейтронов, можно воспроизвести атомную структуру вещества.



Структурная нейтронография позволяет проследить за поведением каждого атома. На рис. 4.6 показана проекция упругого рассеяния нейтронов в кристалле K_2HPO_4 вблизи водородной связи. Видны два атома кислорода (сплошные линии) и два атома водорода (пунктирные линии). Расстояние между ними при комнатной температуре (293 К) (рис. 4.6, а) заметно больше, чем при низкой температуре (77 К) (рис 4.6, б). *Структурная нейтронография* — одно из крупнейших достижений современного естествознания. Она открывает широкие возможности микроскопических исследований свойств многообразных не только физических, но и химических, и биологических объектов.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте кратко историю развития представлений о строении атома.
2. Чем отличается модель атома Томсона от планетарной модели?
3. Сформулируйте постулаты Бора.
4. Можно ли с помощью теории Бора объяснить структуру атомов всех элементов таблицы Менделеева?
5. В чем заключаются корпускулярно-волновые свойства частиц?
6. В чем сущность принципа неопределенности?
7. Сформулируйте принцип дополнительности.
8. Поясните физический смысл волновой функции?
9. Кто и когда сформулировал основное уравнение нерелятивистской квантовой механики?
10. В чем заключается принцип причинности для микропроцессов?
11. На какие два класса делятся частицы в зависимости от характера симметрии волновых функций?

12. Сформулируйте принцип Паули.
13. Охарактеризуйте современные основные атомные системы.
14. Что такое фуллерены?
15. Какими свойствами обладают углеродные нанотрубки?
16. Какова структура атомного ядра?
17. Что такое дефект масс?
18. Как зависит удельная энергия связи ядер от массового числа?
19. Что такое радиоактивность?
20. Назовите основные виды радиоактивного распада.
21. Сформулируйте закон радиоактивного распада.
22. Как возникает цепная реакция деления ядер?
23. Что такое критическая масса?
24. Что характеризует коэффициент размножения нейтронов?
25. При каких условиях возникает термоядерный синтез?
26. В чем заключается трудность управляемого термоядерного синтеза?
27. Какие частицы называются элементарными?
28. Какова особенность свойств нейтрино?
29. Чем отличаются античастицы от частиц?
30. Что такое аннигиляция?
31. Приведите характеристики современных ускорителей.
32. На чем основана структурная нейтронография?

Объясню, как смогу: но не буду говорить
ничего окончательного и определенного,
подобно оракулу Аполлона, а, будучи
всего лишь слабым смертным, укажу
только правдоподобные предположения.

Цицерон



*

Концепция развития
и эволюция Вселенной

*

Естественно-научные
знания о веществе

*

Биосферный уровень
организации материи

*

5. КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

5.1. СУЩНОСТЬ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ

Самоорганизация систем. В последние десятилетия утверждается мнение: материи изначально присуща тенденция не только к разрушению упорядоченности и возврату к исходному хаосу, но и к образованию сложных и упорядоченных систем разного уровня. Разрушительную тенденцию материи наиболее полно отражают статистическая механика и термодинамика, описывающие свойства изолированных (замкнутых) систем, т.е. систем, не обменивающихся ни энергией, ни веществом с окружающей средой. При этом особая роль принадлежит второму началу термодинамики, определяющему необратимость процессов преобразования энергии в замкнутой системе. Такие процессы рано или поздно приводят систему к ее самому простому состоянию — термодинамическому равновесию, эквивалентному хаосу, — состоянию без какой-либо упорядоченности. В прошлом обсуждалась возможность приложения второго начала термодинамики ко Вселенной как замкнутой системе и при этом сделан вывод о деградации Вселенной — ее тепловой смерти.

Известно, что все реальные системы, от самых малых до самых больших, являются открытыми — они обмениваются энергией и веществом с окружающей средой и не находятся в состоянии термодинамического равновесия. В подобных системах возможно образование нарастающей упорядоченности, т.е. возможна самоорганизация вещественных систем. *Самоорганизацией* принято называть природные скачкообразные процессы, переводящие открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния, в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с исходным. Критическое состояние характеризуется крайней неустойчивостью, завершающей плавное эволюционное развитие открытой неравновесной системы. Исследования самоорганизации проводятся в трех на-

правлениях: синергетика, термодинамика неравновесных процессов и математическая теория катастроф.

Синергетика изучает связи между элементами (подсистемами) структуры, которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических и др.) благодаря интенсивному обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях. В открытых системах возможно согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень упорядоченности — уменьшается энтропия. Основа синергетики — термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн. Объект изучения синергетики независимо от его природы должен удовлетворять трем условиям: открытости, существенной неравновесности и скачкообразному выходу из критического состояния.

Открытость означает незамкнутость системы, для которой возможен обмен энергией и веществом с окружающей средой. *Существенная неравновесность* приводит к критическому состоянию, сопровождающемуся потерей устойчивости системы. В результате *скачкообразного выхода из критического состояния* образуется качественно новое состояние с более высоким уровнем упорядоченности. Характерный пример самоорганизующейся системы — оптический квантовый генератор — лазер. При его работе выполняются три перечисленных условия: открытость системы, снабжаемой извне энергией, ее сугубая неравновесность, достижение критического уровня накачки, при котором возникает упорядоченное, монохроматическое излучение.

«Повсюду, куда ни посмотри, обнаруживается эволюция, разнообразие форм и неустойчивости. Интересно отметить, что такая картина наблюдается на всех уровнях — в области элементарных частиц, биологии, астрофизике», — так считает один из основоположников термодинамики неравновесных процессов, лауреат Нобелевской премии 1977 г., бельгийский физик и физико-химик И.Р. Пригожин (1917—2003).

Сложная неравновесная система может перейти из неустойчивого состояния в одно из нескольких устойчивых. В какое именно из них совершится переход — дело случая. В системе, пребывающей в критическом состоянии, развиваются сильные флуктуации, и одна из них инициирует скачок в конкретное устойчивое состояние. Процесс скачка необратим. Критическая точка, в которой наиболее вероятен переход в новое состояние, называется *точкой бифуркации*.

Самоорганизация включает закономерное и случайное в развитии любых открытых систем: плавную эволюцию, ход которой закономерен и детерминирован, и случайный скачок в точке бифуркации, определяющий следующий закономерный этап развития. Прямое отношение к концепции самоорганизации имеет математическая теория катастроф, опи-

сывающая различные скачкообразные переходы, спонтанные качественные изменения и т.п. В теории катастроф применяется довольно сложный математический аппарат — топологическая теория динамических систем.

Концепция развития. Основу концепции развития процессов в природе составляют три положения: системность, динамизм и самоорганизация. *Системность* означает упорядоченную, структурную организацию материи. Вселенная — самая крупная из всех известных материальных систем. На определенных этапах ее развития зарождались разномасштабные подсистемы, характеризующиеся открытостью и неравновесностью. Внешняя среда для любой подсистемы — материальная подсистема более крупного масштаба, с которой она обменивается энергией и веществом. Предполагается, что внешняя среда для Вселенной — физический вакуум. Любая подсистема Вселенной, например галактика (Солнечная система, планета, биосфера, человек и т.д.), представляет собой целостный материальный объект, прошедший собственный путь развития. Она обладает определенной индивидуальностью, автономией и в то же время является неотъемлемой составной частью целого.

Для материальной системы любого масштаба характерен *динамизм*, означающий ее развитие, движение. Без развития, без движения невозможно существование реальной системы, вне зависимости от степени ее упорядоченности и сложности.

В процессе развития способность систем к усложнению приводит к образованию упорядоченных структур — происходит *самоорганизация систем*. При этом действуют два противоположных механизма: объединение элементов системы и ее разделение (фракционирование), характерные для всех уровней сложности и упорядоченности материи, начиная от микромира и кончая крупномасштабными структурами Вселенной. На разных уровнях развития систем преобладает один из четырех видов фундаментальных взаимодействий. Так, на нуклонном уровне организации материи сильное взаимодействие выступает в роли ядерных сил, объединяющих нуклоны в ядра, а слабое взаимодействие — в роли сил, определяющих их радиоактивный распад. На атомном уровне функции объединения и фракционирования выполняет электромагнитное взаимодействие в форме притяжения разноименных и отталкивания одноименных электрических зарядов. На молекулярном уровне электромагнитное взаимодействие обеспечивает химическую связь. В организации структур Вселенной определяющую роль играет гравитационное взаимодействие.

Для управления процессом развития любая система должна обладать способностью накапливать, хранить и передавать информацию, а это означает, что неотъемлемая часть самоорганизации — ее *информатив-*

ность. В этом вопросе пока много неясного. В последнее время удалось выяснить один из решенных природой принципов хранения и передачи информации посредством генного механизма, управляющего структурой и направлением развития живых систем.

В концепции развития весьма важен вопрос соотношения случайного и закономерного. Эволюционные этапы развития вполне детерминированы. При эволюционном развитии поведение системы предсказуемо и даже управляемо при наличии необходимых средств управления. На завершающей стадии эволюции в точке бифуркации преобладает случайность. Точку бифуркации можно сравнить с перекрестком с несколькими ответвленными путями, где, как в сказке, выбор пути означает и выбор судьбы.

Особую роль играет случайность в самоорганизации на завершающей стадии эволюции. Именно случайность определяет возможность перехода системы в более упорядоченное состояние. Можно привести множество примеров, когда случайные переходы хотя в принципе и возможны, т.е. вероятность их не равна нулю, но настолько мала, что их достижение можно считать практически не реализуемым. Например, вероятность процесса сборки часов из случайно разбросанных деталей отлична от нуля, однако трудно представить, что из деталей без вмешательства человека случайно образуется упорядоченная структура — часы. В этой связи полезно помнить, что концепция самоорганизации и синергетический подход, как и многие другие концепции, идеи и даже фундаментальные законы, имеют вполне определенную область применения. Судя по возрастающему потоку публикаций, можно заключить, что идеи самоорганизации и синергетики пытаются внедрить в различные отрасли науки и распространить их на многие объекты — от Вселенной до общества и человека — без учета их специфики и особенностей. Конечно же, такая тенденция не может не привести к поспешным и неверным результатам, что сдерживает процесс поступательного развития естествознания и науки в целом.

5.2. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Основные концепции космологии. Вселенная — самая крупная материальная система. Ее происхождение интересует людей еще с древних времен. Вначале Вселенная была «безвидна и пуста» (Быт., 1,2), — так сказано в Библии. Вначале был вакуум — уточняют современные физики. Каковы истоки происхождения Вселенной? Как она развивается? Какова ее структура? На эти и другие вопросы пытались ответить ученые разных времен. Однако даже крупнейшие достижения естествознания

XX в. не позволяют дать полностью исчерпывающие ответы. В этой связи нельзя не вспомнить слова известного поэта М. Волошина:

«Мы, возводя соборы космогоний,
Не внешний в них отображаем мир,
А только грани нашего незнания».

Тем не менее принято считать, что основные положения современной *космологии* — науки о строении и эволюции Вселенной — начали формироваться после создания в 1917 г. А. Эйнштейном первой релятивистской модели, основанной на теории гравитации и претендовавшей на описание всей Вселенной. Эта модель характеризовала стационарное состояние Вселенной и, как показали астрофизические наблюдения, оказалась неверной.

Важный шаг в решении космологических проблем сделал в 1922 г. профессор Петроградского университета А.А. Фридман (1888—1925). В результате решения космологических уравнений он пришел к выводу: Вселенная не может находиться в стационарном состоянии — она должна расширяться либо сужаться.

Следующий шаг был сделан в 1924 г., когда в обсерватории Маунт Вилсон в Калифорнии американский астроном Э. Хаббл (1889—1953) измерил расстояние до ближайших галактик (в то время называемых туманностями) и тем самым открыл мир галактик. В 1929 г. в той же обсерватории Э. Хаббл по красному смещению линий в спектре излучения галактик экспериментально подтвердил теоретический вывод А.А. Фридмана о расширении Вселенной и установил эмпирический закон — *закон Хаббла*:

скорость удаления галактики V прямо пропорциональна расстоянию r до нее, т.е.

$$V=Hr,$$

где H — постоянная Хаббла.

С течением времени постоянная Хаббла постепенно уменьшается — разбегание галактик замедляется. Но такое уменьшение за наблюдаемый промежуток времени ничтожно мало. Обратной величиной постоянной Хаббла определяется *время жизни (возраст) Вселенной*. Из результатов наблюдения следует, что скорость разбегания галактик увеличивается примерно на 75 км/с на каждый миллион парсек (1 парсек равен 3,3 светового года; световой год — это расстояние, проходимое светом в вакууме за один земной год). При данной скорости экстраполяция к прошлому приводит к выводу: возраст Вселенной составляет около 15 млрд. лет, а это означает, что вся Вселенная 15 млрд. лет назад была сосредоточена в очень маленькой области. Предполагается, что в то время плотность вещества Вселенной была сравнима с плотностью атомного ядра и

вся Вселенная представляла собой огромную ядерную каплю. По каким-то причинам ядерная капля оказалась в неустойчивом состоянии и взорвалась. Это предположение лежит в основе *концепции большого взрыва*.

Произведением времени жизни Вселенной на скорость света определяется радиус *космологического горизонта* — граница познания Вселенной посредством астрономических наблюдений. Информация об объектах за космологическим горизонтом до нас еще не дошла — мы не можем заглянуть за космологический горизонт. Несложный расчет показывает, что радиус космологического горизонта равен приблизительно 10^{26} м. Очевидно, что этот радиус ежесекундно увеличивается примерно на 300 тыс. км. Но такое увеличение ничтожно мало по сравнению с величиной радиуса космологического горизонта. Для наблюдения заметного расширения космологического горизонта нужно подождать миллиарды лет.

В концепции большого взрыва предполагается, что расширение Вселенной происходило с одинаковой скоростью, начиная с момента взрыва ядерной капли. В настоящее время обсуждается и другая гипотеза — гипотеза *пульсирующей Вселенной*: Вселенная не всегда расширялась, а пульсирует между конечными пределами плотности. Из нее следует, что в некотором прошлом скорость удаления галактик была меньше, чем сейчас, и были периоды, когда Вселенная сжималась, т.е. галактики приближались друг к другу и с тем большей скоростью, чем большее расстояние их разделяло.

По мере развития естествознания и особенно ядерной физики выдвигаются различные гипотезы о физических процессах на разных этапах космологического расширения. Одна из них предложена в конце 40-х годов XX в. Г.А. Гамовым (1904—1968), физиком-теоретиком, эмигрировавшим в 1933 г. из Советского Союза в США, и называется моделью *горячей Вселенной*. В ней рассмотрены ядерные процессы, протекавшие в начальный момент расширения Вселенной в очень плотном веществе с чрезвычайно высокой температурой. По мере расширения Вселенной плотное вещество охлаждалось.

Из этой модели следуют два вывода:

- 1) вещество, из которого зарождались первые звезды, состояло в основном из водорода (75%) и гелия (25%);
- 2) в сегодняшней Вселенной должно наблюдаться слабое электромагнитное излучение, сохранившее память о начальном этапе развития Вселенной, и поэтому названное *реликтовым*.

С развитием астрономических средств наблюдения, и в частности, с рождением радиоастрономии, появились новые возможности познания Вселенной. В 1965 г. американские астрофизики А. Пензиас (р. 1933) и Р. Вильсон (р. 1936) экспериментально обнаружили реликтовое излучение, за что были удостоены в 1978 г. Нобелевской премии. Реликтовое из-

лучение — это фоновое изотропное космическое излучение со спектром, близким к спектру излучения абсолютно черного тела с температурой около 3 К. Оно наблюдается на волнах длиной от нескольких миллиметров до десятков сантиметров.

В 2000 г. сообщалось: сделан важный шаг на пути понимания самого раннего этапа эволюции Вселенной. В лаборатории Центра европейских ядерных исследований в Женеве получено новое состояние материи — кварк-глюонная плазма. Предполагается, что в таком состоянии Вселенная находилась в первые 10 мкс после большого взрыва. До сих пор удавалось охарактеризовать эволюцию материи на стадии не ранее трех минут после взрыва, когда уже сформировались ядра атомов.

Образование объектов Вселенной. В 1963 г. на очень больших расстояниях от нашей Галактики, на границе наблюдаемой Вселенной, обнаружены удивительные объекты, получившие название *квазаров*. При сравнительно небольших размерах (поперечник их составляет несколько световых недель или месяцев) квазары выделяют колоссальную энергию, примерно в 100 раз превосходящую энергию излучения самых гигантских галактик, состоящих из десятков и сотен миллиардов звезд. Какие физические процессы могут приводить к выделению столь грандиозного количества энергии, пока неясно.

Астрономы обратили внимание на определенное сходство между квазарами и активными ядрами некоторых галактик. Квазары — весьма удаленные объекты. А чем дальше от нас находится тот или иной космический объект, тем в более отдаленном прошлом мы его наблюдаем, что обуславливается конечной скоростью распространения электромагнитного излучения, в том числе и света. Хотя скорость света велика — около 300 тыс. км/с, но даже при такой огромной скорости для преодоления космических расстояний необходимы десятки, сотни и даже миллиарды лет. Мы наблюдаем объекты Вселенной — Солнце, планеты, звезды, галактики — в прошлом. Причем различные объекты — в разном прошлом. Например, Полярную звезду — такой, какой она была около шести веков назад. А галактику в созвездии Андромеды мы наблюдаем с опозданием на 2 млн. лет.

Квазары удалены от нас на миллиарды световых лет. Галактики с активными ядрами в среднем расположены ближе. Следовательно, они принадлежат к объектам более позднего поколения, т.е. образовались после рождения квазаров. Возникает вопрос: не являются ли квазары протоядрами будущих галактик, теми «зародышами», вокруг которых впоследствии сформировались десятки и сотни миллиардов звезд — звездные острова Вселенной? При попытке ответить на эти вопросы родилась гипотеза о *черных дырах*. Сущность ее заключается в следующем. Если некоторая масса вещества оказывается в сравнительно небольшом объеме,

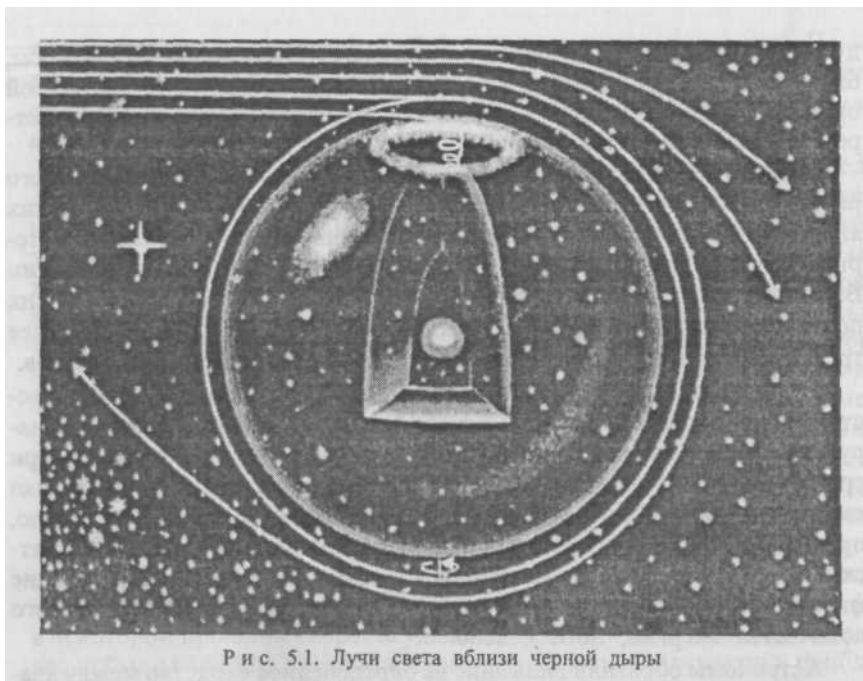


Рис. 5.1. Лучи света вблизи черной дыры

критическом для нее, то под действием сил собственного тяготения такое вещество начинает неудержимо сжиматься. Наступает своеобразная гравитационная катастрофа — гравитационный коллапс. В результате сжатия растет концентрация вещества. Наконец, наступает момент, когда сила тяготения на ее поверхности становится столь велика, что для ее преодоления надо развить скорость, превосходящую скорость света. Такие скорости практически недостижимы, и из замкнутого пространства черной дыры не могут вырваться ни лучи света, ни частицы материи. Излучение черной дыры оказывается «запертым» гравитацией. Черные дыры способны только поглощать излучение. На рис. 5.1 изображена воображаемая картина прохождения лучей вблизи черной дыры. Луч, проходящий на близком расстоянии от нее, поглощается, а более отдаленные лучи искривляются.

Предполагается, что образование черных дыр во Вселенной происходит различными путями. Например, они могут возникать в результате сжатия массивных звезд на заключительных стадиях их жизни или вследствие концентрации вещества в центральных частях достаточно массивных звездных систем. В частности, в ядрах галактик и квазарах могут находиться сверхмассивные черные дыры.

Результаты наблюдения галактики М—87 позволяют предполагать, что в непосредственной близости от ее центра сконцентрирована слабо-светящаяся масса, превосходящая 5 млрд. солнечных масс. Похожие результаты получены и для других галактик. Может быть, это и есть гигантские черные дыры или какие-то другие сверхплотные образования пока неизвестной природы. Существование черных дыр следует из общей теории относительности, и об их астрономическом открытии говорить не приходится. Совершенно другой точки зрения на данную проблему придерживаются известный российский специалист в области квантовой теории поля, выдающийся ученый, академик РАН А.А. Логунов и его последователи. Исходя из понимания гравитации как проявления реального физического поля, а не как следствия искривления пространства — времени согласно общей теории относительности, ученые находят логическое объяснение наблюдаемым в мегамире явлениям, не прибегая к понятию черной дыры.

Сравнительно недавно основные положения космологии базировались на идеях классической физики. Развитие рассматривалось как медленный и плавный процесс перехода от одного стационарного состояния к другому. Считалось, что звезды постепенно рассеивают свое вещество, и оно накапливается в виде гигантских туманностей. Туманности сгущаются в звезды и т.д. Однако наблюдения последних десятилетий свидетельствуют и о другом: в развитии материи во Вселенной играют определенную роль и нестационарные процессы, в частности взрывные процессы. Можно предполагать, что нестационарные процессы представляют собой своеобразные поворотные пункты в развитии космических объектов, где совершаются переходы из одного качественного состояния в другое, образуются новые небесные тела — происходит самоорганизация Вселенной.

Вопрос об образовании космических объектов в результате нестационарных процессов и о самоорганизации Вселенной еще окончательно не решен. Кроме того, одна из важных проблем современного естествознания состоит в том, чтобы установить, в каком физическом состоянии находилось вещество до начала расширения Вселенной. Видимо, это было состояние чрезвычайно высокой плотности. Для описания явлений, происходящих при столь высокой плотности, современные фундаментальные физические теории, к сожалению, не применимы. При таких условиях проявляются не только гравитационные, но и квантовые эффекты, характерные для процессов микромира. А теории, которая объединяла бы их, пока нет — ее предстоит создать.

Одно из предположений, следующих из концепции самоорганизации, заключается в том, что первоначальный сгусток материи возник из физического вакуума. Физический вакуум, как уже отмечалось, — своеобразная форма материи, способная при определенных условиях «рождать» вещественные частицы без нарушения законов сохранения материи и движения.

Вселенная в широком смысле — это среда нашего обитания. Поэтому важное значение для практической деятельности человека имеет то обстоятельство, что во Вселенной господствуют необратимые физические процессы, что она изменяется с течением времени, находится в постоянном развитии. Человек приступил к освоению космоса, вышел в открытое космическое пространство. Наши свершения приобретают все больший размах, глобальные и даже космические масштабы. И для того чтобы учесть их близкие и отдаленные последствия, те изменения, которые они могут внести в состояние среды нашего обитания, в том числе и космической, мы должны изучать не только земные явления и процессы, но и закономерности космического масштаба.

5.3. СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ

Глядя на усеянное звездами небо, человек приходит в восторг, не оставаясь равнодушным к созерцаемому. «Открылась бездна, звезд полна. Звездам числа нет, бездне — дна» — эти прекрасные строки М.В. Ломоносова, написанные на заре зарождения русской поэзии, образно и наиболее полно описывают первое впечатление, которое испытывает человек, любясь завораживающей картиной звездного неба. Про звезды сложено множество стихов, песен. Звезды и бескрайнее небесное пространство всегда притягивали и притягивают всех: и самого обыкновенного человека, и поэта, и ученого. Но для ученых, естествоиспытателей звездное небо — не только предмет восторга и наслаждения, но и увлекательный, неисчерпаемый объект исследований.

В ясную погоду в безлунную ночь невооруженным глазом можно наблюдать на небосводе до трех тысяч звезд. Но это лишь небольшая часть тех звезд и других космических объектов, из которых состоит Вселенная. *Вселенная* — это весь существующий материальный мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Часть Вселенной, доступная исследованию астрономическими средствами, соответствующими достигнутому уровню развития науки, называется *Метагалактикой*. Иначе говоря, Метагалактика — охваченная астрономическими наблюдениями часть Вселенной. Она находится в пределах космологического горизонта.

Структура Вселенной — предмет изучения *космологии*, одной из важных отраслей естествознания, находящейся на стыке многих естественных наук: астрономии, физики, химии и др. Главные составляющие Вселенной — *галактики* — громадные звездные системы, содержащие десятки, сотни миллиардов звезд. Солнце вместе с планетной системой входят в нашу Галактику, наблюдаемую в форме *Млечного Пути*. Кроме звезд и планет Галактика содержит разреженный газ и космическую пыль.

Млечный Путь хорошо виден в безлунную ночь. Он кажется скоплением светящихся туманных масс, протянувшимся от одной стороны горизонта до другой, и состоит примерно из 150 млрд. звезд. По форме он напоминает сплюснутый шар. В центре его находится ядро, от которого отходит несколько спиральных звездных ветвей. Наша Галактика чрезвычайно велика: от одного ее края до другого световой луч путешествует около 100 тыс. земных лет. Большая часть ее звезд сосредоточена в гигантском диске толщиной около 1500 световых лет. На расстоянии около 30 тыс. световых лет от центра Галактики расположено наше Солнце.

Основное «население» галактик — *звезды*. Мир звезд необыкновенно разнообразен. И хотя все звезды — раскаленные шары, подобные Солнцу, их физические характеристики различаются весьма существенно. Есть, например, *звезды-гиганты* и *сверхгиганты*. По своим размерам они значительно превосходят Солнце. Объем одной из звезд в созвездии Цфефея больше объема Солнца в 14 млрд. раз. Если бы эту громадную звезду можно было поместить в центре нашей планетной системы, то не только Земля, но и орбиты более далеких планет — Марса, Юпитера, даже Сатурна — оказались бы внутри такого сверхгигантского шара.

Кроме звезд-гигантов существуют и *звезды-карлики*, значительно уступающие по своим размерам Солнцу. Некоторые карлики меньше Земли и даже Луны. Вещество их отличается чрезвычайно высокой плотностью. Так, если из вещества одного из наиболее плотных белых карликов можно было бы изготовить гирию, равную по размерам обычной килограммовой гири, то на Земле такая гирия весила бы 4 тыс. т.

Еще большей плотностью обладают *нейтронные звезды*. Диаметр такой звезды, состоящей главным образом из ядерных частиц — нейтронов, составляет всего около 20—30 км, а средняя плотность вещества достигает 100 млн. т/см³. По существу, нейтронная звезда — это громадное атомное ядро. Существование нейтронных звезд теоретически предсказано еще в 30-х годах XX в. Однако обнаружить их удалось только в 1967 г. по необычному импульсному радиоизлучению. Нейтронные звезды быстро вращаются, и радиолуч каждой вращающейся звезды регистрирует

радиотелескоп как импульс радиоизлучения. Поэтому нейтронные звезды подобного типа называются *пульсарами*. Большинство пульсаров излучает в радиодиапазоне от метровых до сантиметровых волн. Иногда их называют *радиопульсарами*. Пульсары в Крабовидной туманности и ряд других излучают, кроме того, в оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах.

Звезды обладают различными поверхностными температурами — от нескольких тысяч до десятков тысяч градусов. Соответственно различен и цвет звезд. Сравнительно «холодные» звезды — с температурой 3—4 тыс. градусов — красного цвета. Наше Солнце с поверхностью, «нагретой» до 6 тыс. градусов, имеет желтоватый цвет. Самые горячие звезды — с температурой выше 12 тыс. градусов — белые и голубоватые.

Во Вселенной наблюдаются вспышки *новых и сверхновых звезд*. Такие звезды в некоторый момент времени в результате бурных физических процессов неожиданно увеличиваются в объеме, «раздуваются», сбрасывают свою газовую оболочку и в течение нескольких суток выделяют чудовищное количество энергии — в миллиарды раз больше, чем излучает Солнце. Затем, исчерпав свои ресурсы, они постепенно тускнеют, превращаясь в газовую туманность. Так, на месте сверхновой звезды образовалась, например, Крабовидная туманность. Она является мощным источником излучения, что свидетельствует о продолжении происходящих внутри нее интенсивных процессов.

Звезды, составляющие нашу Галактику, движутся вокруг ее центра по очень сложным орбитам. С огромной скоростью — около 250 км/с — движется в мировом пространстве и наше Солнце, увлекая за собой свои планеты. Солнечная система совершает один полный оборот вокруг галактического центра за время больше 200 млн. лет.

Своеобразные звездные системы в виде небольших туманных пятен наблюдаются на небе Южного полушария. Они удалены от нас на расстояние около 150 тыс. световых лет. Впервые их подробно описал спутник и биограф Магеллана Пигафетт во время знаменитого кругосветного путешествия. Они вошли в историю астрономии под названием Магеллановых облаков — Большого и Малого. Радиоастрономические исследования последних десятилетий показали, что Магеллановы облака — это спутники нашей Галактики: они обращаются вместе с ней вокруг общего центра.

На расстоянии около 2 млн. световых лет от нас находится ближайшая к нам галактика — *Туманность Андромеды*, которая по своему строению напоминает Млечный Путь, но значительно превосходит его по своим размерам. Туманность Андромеды включает спутники — две эллиптические туманности, состоящие из огромного числа звезд.

По форме и строению различают *эллиптические, спиральные, шаровые и неправильной формы галактики*. Почти четверть всех известных галактик относится к эллиптическим. Плотность распределения звезд в них равномерно убывает в направлении от центра. Самые яркие в них звезды — красные гиганты. К спиральным галактикам относятся наша Галактика, туманность Андромеды и многие другие. Галактики неправильной формы не имеют центральных ядер; закономерность распределения звезд в них пока не установлена. В созвездии Центавра наблюдается шаровая галактика, являющаяся источником радиоизлучения.

Наша Галактика, туманность Андромеды вместе с другими соседними звездными системами образуют *Местную систему галактик*. Она объединяет 16 галактик. Диаметр ее больше 2 млн. световых лет. Звездные острова, галактики — типичные объекты Вселенной. К настоящему времени известно множество звездных образований, которые таят в себе еще немало загадок.

5.4. СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВСЕЛЕННОЙ

Все сведения о космических объектах приносят на Землю различные излучения — электромагнитные волны и потоки частиц. В XX в. родились радиоастрономия и нейтринная астрономия. Первым вестником объектов Вселенной далеких миров был световой луч — электромагнитные волны в видимой части спектра излучения. Это не случайно: световое излучение воспринимается непосредственно — невооруженным глазом. Для наблюдения небесных тел пользуются специальными приборами — *телескопами*. Телескоп не увеличивает звезды и не приближает их, как это иногда ошибочно утверждают, а собирает свет с помощью объектива — двояковыпуклой линзы или вогнутого зеркала. Простейшая труба Галилея собирала в 144 раза больше света, чем невооруженный глаз. Сооруженный в 1974 г. в нашей стране на Северном Кавказе, вблизи станции Зеленчукской, один из крупнейших в мире телескоп с диаметром зеркала в 6 м собирает света в миллион с лишним раз больше. Это очень сложное уникальное техническое устройство. Состоит оно из 25 тыс. деталей. Труба телескопа длиной 24 м весит около 280 т. Телескоп оснащен разнообразной высокочувствительной аппаратурой и комплексом электронных вычислительных систем для наблюдений в соответствии с заданной программой и обработки полученных результатов. В последнее время вступили в строй телескопы с диаметром зеркала 8, 10 и 11 м. Современные телескопы снабжены спектрографами для изучения спектра излучения, по которому определяются химический состав и температура источника излучения.

Завершается строительство крупнейшей в мире системы оптических телескопов Европейской южной обсерватории на горе Сьерро-Параналь в чилийской пустыне Атакама. По суммарной площади зеркал эта система будет эквивалентна 17-метровому телескопу и по разрешающей способности примерно в десять раз превзойдет все современные телескопы.

Продолжается модернизация прославленной обсерватории Маунт Вилсон (штат Калифорния). На звездную вахту встанут шесть телескопов, каждый с зеркалом диаметром в 1 м. Они будут расположены попарно по трем различным направлениям. Предполагается, что компьютерная обработка информации позволит получить разрешение звездного изображения, доступное телескопу с зеркалом диаметром 400 м (это даже трудно себе представить!).

С появлением высокочувствительной радиоаппаратуры расширился диапазон исследования космического излучения. Радионаблюдение Вселенной не зависит от времени суток и погодных условий. Источниками космического радиоизлучения являются многие объекты Вселенной, в которых протекают бурные физические процессы. Принципы действия радиотелескопа и оптического телескопа во многом совпадают. Однако функцию объектива, собирающего космическое излучение, в радиотелескопе выполняют огромные антенны специальной формы. Один из крупнейших отечественных радиотелескопов (РАТАН) построен в 1977 г. в 40 км от 6-метрового оптического телескопа. Его кольцевая антенна диаметром 600 м состоит из 895 алюминиевых щитов-зеркал, каждый из которых может поворачиваться вокруг горизонтальной и вертикальной осей, что позволяет наводить радиотелескоп на разные участки звездного неба.

Еще один вестник Вселенной — *инфракрасные лучи*. По длине волны они занимают промежуточное место между радиоволнами и видимым светом. Инфракрасные лучи обладают важным свойством: они проходят сквозь космическую пыль и межзвездный газ. Человеческий глаз не воспринимает инфракрасное излучение, нечувствительны к нему и обычные фотопластинки. Поэтому при фотографировании космических объектов в инфракрасном диапазоне применяют специальные фотоматериалы и электронно-оптические преобразователи.

Из глубин Вселенной поступают еще два вида сигналов: *ультрафиолетовые и рентгеновские лучи*. Для этих видов коротковолнового излучения земная атмосфера является препятствием. Такое излучение стало доступным для изучения лишь при появлении ракетной и космической техники. С помощью приборов, установленных на борту высотных ракет, удалось получить, например, ультрафиолетовый снимок Солнца. Рентгеновские телескопы на борту космических аппаратов зарегистрировали

излучение большого числа различных космических объектов и рентгеновское свечение всего неба — своеобразный рентгеновский фон.

К многообещающим источникам космической информации относится *гамма-излучение*. Энергия гамма-квантов значительно превосходит энергию фотонов видимого света. Для них Вселенная почти прозрачна. Они приходят к нам от весьма удаленных объектов и несут информацию о физических процессах в глубине Вселенной.

С развитием ядерной физики и физики элементарных частиц наметился еще один путь к разгадке сокровенных тайн Вселенной. Он связан с регистрацией космических нейтрино и лежит в основе *нейтринной астрономии*. Отличительная особенность нейтрино — чрезвычайно высокая проникающая способность. Регистрируя нейтринный поток с помощью детекторов, можно получить информацию о термоядерных процессах, протекающих в звездах.

С появлением космической техники открылась новая возможность исследования Вселенной. Созданный уникальный телескоп-спутник «Хаббл» позволил получить не только четкие изображения планет Солнечной системы, но и новые сведения о происходящих там процессах. На снимках, сделанных в 1996 г. с расстояния примерно 100 млн. км можно различить детали поверхности Марса размером не менее 25 км — такова разрешающая способность телескопа «Хаббл». Для сравнения: один из лучших наземных телескопов в мире, расположенный в обсерватории Маунт-Паломар (США) позволяет рассмотреть детали на Марсе размером 300—400 км. С помощью спутникового телескопа «Хаббл» удалось лучше рассмотреть кольца Сатурна и обнаружить кольцевые системы Юпитера, Урана и Нептуна. С поверхности Земли такие системы не видны — мешает замутненность атмосферы нашей планеты.

В настоящее время создается новый внеземной телескоп, который заменит «Хаббл» в 2006 г. Новый телескоп гораздо чувствительнее «Хаббла». Он сможет обнаружить в десятки раз более слабые объекты. Диаметр зеркала нового прибора — 8 м, а масса зеркала — всего 7 кг. Для сравнения: зеркало действующего телескопа «Хаббл» имеет диаметр 2,4 м и весит 826 кг. В новой конструкции зеркальную поверхность образует слой золота, нанесенный на силиконовую пленку.

Ежедневная картина восхода Солнца вряд ли вызывает удивление. А можно ли наблюдать восход Земли? Оказывается, можно. Такую возможность представляют космические аппараты. Долгое время Земля казалась человеку необычной и безграничной. Понадобились сотни, даже тысячи лет, чтобы разглядеть собственными глазами Землю из космоса, откуда представилась прекрасная возможность увидеть нашу планету всю, целиком, и откуда она больше не кажется нам необъятной и безграничной.

Таким образом, созданный во второй половине XX в. огромный арсенал средств астрономических наблюдений, наземных и космических, способствует дальнейшему раскрытию тайн Вселенной.

5.5. ПРОБЛЕМА ПОИСКА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

К настоящему времени известен только один очаг жизни и разума — планета Земля. Однако нельзя однозначно утверждать, что среди многих миллиардов звезд условия зарождения живой материи и ее длительной эволюции могли возникнуть только в одной точке Вселенной — в нашей Галактике, вблизи Солнца. Проблема поиска жизни, и особенно разумной, вне Земли в последние десятилетия приобретает естественно-научный характер. Вряд ли есть другая научная проблема, которая вызывала бы такой жгучий интерес и такие жаркие споры, как проблема связи с внеземными цивилизациями. Созываются научные конференции и симпозиумы, налаживается международное сотрудничество ученых, ведутся экспериментальные исследования. По меткому выражению писателя-фантаста Станислава Лема, проблема связи с внеземными цивилизациями подобна игрушечной матрешке — она содержит в себе проблематику многих отраслей естествознания.

Возможно, что среди множества звезд Вселенной найдутся десятки, а может быть и сотни таких, которые окружены обитаемыми планетами. Можно предполагать, что и перед другими цивилизациями, достигшими высокого уровня развития, как наша, встал тот же вопрос — как установить связь с другими разумными обитателями Вселенной? Кто знает, быть может и сейчас в направлении нашего Солнца кто-то посылает сигналы, на которые пока человечество отвечало молчанием! На какой же длине волны возможна такая передача? Скорее всего, в диапазоне радиоволн.

Вероятно, неведомые нам разумные существа могут жить на другой планете, окруженной атмосферой. Значит, они могут посылать радиосигналы в космос только через узкое «радиоокно» их атмосферы. Возможный диапазон радиоволн для «межзвездной» радиосвязи, по-видимому, ограничивается длинами от нескольких сантиметров до 30 м. Космические естественные источники излучения ведут постоянную интенсивную «радиопередачу» на волнах метрового диапазона. Чтобы она не создавала досадных помех, радиосвязь между обитаемыми мирами должна вестись на длинах волн не более 50 см. Более короткие радиоволны (в несколько сантиметров) не подходят, поскольку тепловое радиоизлучение планет происходит именно на таких волнах, и оно будет «глушить» искусственную радиосвязь. Родилась идея: радиосвязь целесообразно вести на волнах, близких к 21 см, которые излучает межзвездный водород, играющий

важную роль в изучении Вселенной. Водород — самый распространенный элемент в наблюдаемой нами части Вселенной, и его излучение на волне 21 см можно рассматривать как некий природный космический эталон.

С конца 1960 г. в Национальной радиоастрономической обсерватории США начались систематические «прослушивания» некоторых звезд с целью обнаружить искусственные радиосигналы. Для начала были выбраны две звезды, весьма похожие на Солнце. Это Тау из созвездия Кита и Эпсилон из созвездия Эридана. До каждой из них около одиннадцати световых лет. Прослушивание велось с помощью радиотелескопа с диаметром зеркала 26 м. Однако космос безмолвствовал. Впрочем, надеяться на быстрый успех было бы слишком наивно. Пройдут годы, а может быть многие десятилетия, прежде чем удастся принять искусственные радиопередачи из глубин Вселенной. Да и расшифровав полученные радиосигналы и послав в ответ свои, мы не можем ожидать быстрого, оперативного разговора. Наши вопросы и их ответы будут распространяться со скоростью света, а это значит, что от посылки до получения ответа пройдут десятилетия и даже столетия. К сожалению, разговор ускорить невозможно — в природе нет ничего быстрее радиоволн.

В США обсуждается проект по созданию комплекса для приема внеземных радиосигналов, состоящего из тысячи синхронных радиотелескопов, установленных на расстоянии 15 км друг от друга. В сущности, такой комплекс подобен одному исполинскому параболическому радиотелескопу с площадью зеркала 20 км². Проект предполагается реализовать в течение ближайших 10—20 лет. Стоимость намеченного сооружения по истине астрономическая — не менее 10 млрд. долл. Проектируемый комплекс радиотелескопов позволит принимать искусственные радиосигналы в радиусе 1000 световых лет. В таком огромном космическом пространстве содержится свыше миллиона солнцеподобных звезд, часть которых, возможно, окружена обитаемыми планетами. Чувствительность проектируемой системы чрезвычайно высока. Если бы вокруг ближайшей к нам звезды Альфа Центавра обращалась планета, подобная Земле (с таким же уровнем развития радиосвязи), то такая система сможет уловить посылаемые от нее радиосигналы.

Жажда общения с внеземным разумом так сильна, что все технические и временные трудности кажутся преодолимыми. К тому же разумные наши собратья могут оказаться и по соседству с нами. Вселенная беспредельна в своем многообразии, среди бесчисленного множества звездных и планетных систем могут встретиться такие планеты, физические условия на которых создали предпосылки для зарождения и развития жизни. Но какой жизни? Такой, как у нас на Земле, или отличающейся от нее? И в состоянии ли мы сразу распознать живую материю, не родствен-

ную нам? Еще более сложен вопрос о внеземных разумных существах. Если они есть, то сможем ли мы их понять? Конечно, не исключена вероятность возникновения на других планетах не известных нам цивилизаций. Мы знаем только живую материю, зародившуюся на нашей планете. Может быть, в безграничном пространстве Вселенной существует множество других совершенных и сложных форм движения и организации материи, о которых мы даже не подозреваем. Проблема внеземных цивилизаций представляет интерес не только с точки зрения их обнаружения, но и для более глубокого исследования закономерностей процессов развития материальных систем на нашей планете.

5.6. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА — ЧАСТЬ ВСЕЛЕННОЙ

Происхождение и структура Солнечной системы. В центре Солнечной системы находится звезда Солнце. Вокруг него обращаются девять больших планет вместе со своими спутниками, множество малых планет — астероидов. В Солнечную систему входят, кроме того, многочисленные кометы и межпланетная среда. Большие планеты располагаются в порядке удаления от Солнца следующим образом: *Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон* (рис. 5.2). Три последние планеты можно наблюдать с Земли только в телескопы. Остальные видны, как яркие светящиеся диски небольших диаметров и известны людям с древних времен.

На протяжении веков и даже тысячелетий ученые пытались выяснить прошлое, настоящее и будущее Вселенной, в том числе и Солнечной сис-

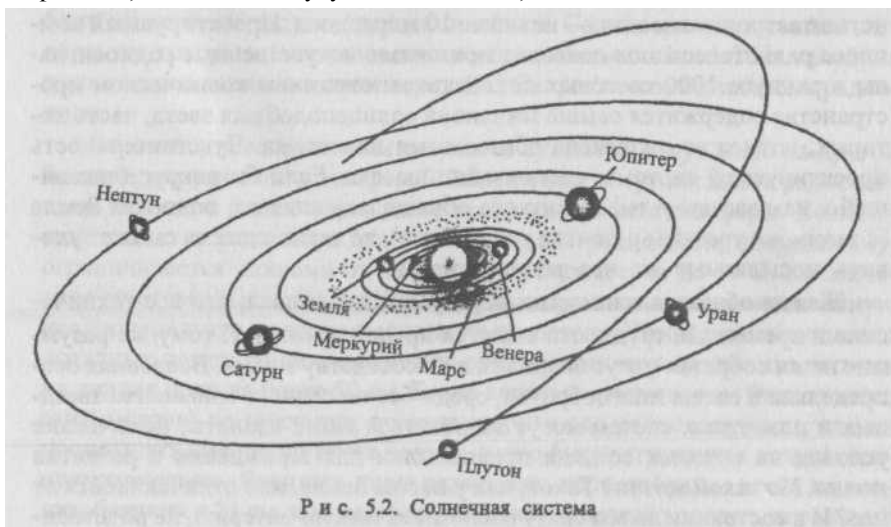


Рис. 5.2. Солнечная система

темы. Однако возможности планетной космологии и по сей день остаются весьма ограниченными — для эксперимента в лабораторных условиях доступны пока лишь метеориты и образцы лунных пород.

К настоящему времени известны различные гипотезы о происхождении Солнечной системы, в том числе и предложенные независимо немецким философом И. Кантом (1724—1804) и французским математиком и физиком П. Лапласом (1749—1827). Точка зрения И. Канта заключается в эволюционном развитии холодной пылевой туманности, в ходе которого сначала возникло центральное массивное тело — Солнце, а потом родились и планеты. П. Лаплас считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность вследствие закона сохранения момента импульса вращалась все быстрее и быстрее. Под действием больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца, превращаясь в результате охлаждения и конденсации в планеты, которые образовались раньше Солнца. Однако, несмотря на различие между двумя рассматриваемыми гипотезами, обе они исходят от одной идеи — Солнечная система возникла в результате превращения туманности. И поэтому такую идею иногда называют гипотезой Канта—Лапласа.

Согласно современным представлениям, планеты Солнечной системы образовались из *холодного газопылевого облака*, окружавшего Солнце миллиарды лет назад. Подобная точка зрения наиболее последовательно отражена в гипотезе российского ученого, академика О.Ю. Шмидта (1891—1956). По его мнению, планеты образовались в результате объединения пылевых частиц. Возникшее около Солнца газопылевое облако сначала состояло из 98% водорода и гелия. Остальные элементы конденсировались в пылевые частицы. Беспорядочное движение газа в облаке быстро прекратилось и сменилось равномерным движением облака вокруг Солнца. Пылевые частицы сконцентрировались в центральной плоскости, образовав слой повышенной плотности. Когда плотность слоя достигла некоторого критического значения, его собственное тяготение стало «соперничать» с тяготением Солнца. Слой пыли оказался неустойчивым и распался на отдельные пылевые сгустки. Сталкиваясь друг с другом, они образовали множество сплошных плотных тел. Наиболее крупные из них приобретали почти круговые орбиты и в своем росте начали обгонять другие тела, став потенциальными зародышами будущих планет. Как более массивные тела они присоединяли к себе оставшееся вещество газопылевого облака. В конце концов сформировалось девять больших планет, движение которых по орбитам остается устойчивым на

протяжении миллиардов лет. В соответствии с данной гипотезой Солнце образовалось раньше планет. По современным оценкам возраст Солнца не менее 5 млрд. лет.

С учетом физических характеристик все планеты делятся на две группы. Одна из них состоит из сравнительно небольших *планет земной группы* — Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Их вещество отличается относительно высокой плотностью: в среднем около $5,5 \text{ г/см}^3$, что в 5,5 раза превосходит плотность воды. Другую группу составляют *планеты-гиганты*: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Эти планеты обладают огромными массами. Так, масса Урана равна 15 земным, а Юпитера — 318. Состоят планеты-гиганты главным образом из водорода и гелия, а средняя плотность их вещества близка к плотности воды. По-видимому, они не имеют твердой поверхности в отличие от планет земной группы. Особое место занимает девятая планета — Плутон, открытая в марте 1930 г. По своим размерам она близка к планетам земной группы. Сравнительно недавно обнаружено, что Плутон — двойная планета: она состоит из центрального тела и очень большого спутника. Оба небесных тела обращаются вокруг общего центра масс.

Солнце. Центральное тело нашей планетной системы — *Солнце* — ближайшая к Земле звезда, представляет собой раскаленный плазменный шар, гигантский источник энергии мощностью около $3,86 \cdot 10^{23} \text{ кВт}$. Ежесекундно Солнце излучает такое количество тепла, которого вполне хватило бы, чтобы растопить слой льда толщиной в тысячу километров, окружающий земной шар. Солнце играет исключительно важную роль в возникновении и развитии жизни на Земле, на которую попадает лишь незначительная часть его энергии, в то же время достаточная для поддержания газообразного состояния земной атмосферы, нагревания поверхностей суши и водоемов и обеспечения жизнедеятельности животных и растений. Существенная часть солнечной энергии запасена в недрах Земли в виде каменного угля, нефти и природного газа.

Предполагается, что в недрах Солнца при огромных температурах — около 15 млн. градусов — и гигантском давлении протекают термоядерные реакции синтеза, сопровождающиеся выделением чрезвычайно большого количества энергии. Одной из возможных реакций может быть синтез ядер водорода, при котором образуются ядра атома гелия. Подсчитано, что в каждую секунду в недрах Солнца 564 млн. т водорода преобразуются в 560 млн. т гелия, а остальные 4 млн. т водорода превращаются в излучение. Термоядерная реакция не прекратится до тех пор, пока не иссякнут запасы водорода, составляющие в настоящее время около 60% массы Солнца. Таких запасов должно хватить, по меньшей мере, на несколько миллиардов лет.

Почти вся энергия Солнца выделяется в его центральной части, откуда переносится излучением и во внешний слой передается конвекцией. Эффективная температура поверхности Солнца — фотосферы — около 6000 К. Солнце — источник не только света и тепла: его поверхность излучает потоки невидимых ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, а также элементарных частиц. Интенсивность невидимых излучений существенно меняется и зависит от уровня *солнечной активности*. Наблюдаются циклы солнечной активности с периодом в 11 лет. В годы наибольшей активности увеличивается число пятен и вспышек на поверхности Солнца, на Земле возникают магнитные бури, усиливается ионизация верхних слоев атмосферы и т.д. Солнце оказывает заметное влияние не только на такие природные процессы, как погода, земной магнетизм, но и на *биосферу*, включающую животный и растительный мир Земли, в том числе и на человека.

Луна. Подобно тому как Земля обращается вокруг Солнца, вокруг Земли движется *Луна* — естественный спутник нашей планеты. Луна меньше Земли, ее диаметр составляет около одной четверти земного диаметра, а масса в 81 раз меньше массы Земли. Поэтому сила тяготения на Луне примерно в 6 раз меньше, чем на нашей планете. Слабая сила притяжения не позволила Луне удержать плотную, как на Земле, атмосферу и сохранить на ее поверхности воду.

Луна покрыта рыхлым слоем реголита, состоящего из фракций магматических пород. Минералогический состав лунных пород близок к земным породам — базальтам. Лунные породы отличаются от земных по содержанию оксидов, железа (более 25%) и титана (до 13%). Рельеф Луны образуют горные хребты, кольцевые горы-кратеры и равнинные области, называемые морями, на которых наблюдаются отдельные мелкие кратеры метеоритного происхождения.

В 1959 г. поверхность Луны впервые достигла советская автоматическая станция «Луна-2». С того времени начался новый этап ее исследования. Получена интересная информация о составе и структуре лунных пород. По предварительным оценкам, возраст лунных пород — 2,6—4 млрд. лет. Температура лунной поверхности — 100—400 К. Луна находится на среднем расстоянии от Земли 384 400 км. Преодолев такое огромное расстояние, 21 июля 1969 г. американский астронавт Н. Армстронг впервые ступил на поверхность Луны — сбылась давняя сказочная мечта человечества.

Планеты земной группы. Планеты этой группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс, — хотя и похожи друг на друга, но все же каждая из них имеет свои неповторимые особенности. Характерные параметры планет земной группы представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Среднее расстояние от Солнца, а.е.	0,4	0,7	1,0	1,5
Радиус, км	2439	6052	6378	3378
Относительная масса	0,06	0,82	1	0,107
Период вращения	59 сут	243 сут	24 ч	24,6 ч
Период обращения вокруг Солнца, годы	0,24	0,62	1,00	1,88

Среднее расстояние в табл. 5.1 дано в астрономических единицах (а.е.); 1 а.е. равна среднему расстоянию Земли от Солнца ($1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$). Самая массивная из этих планет — Земля: ее масса $5,99 \cdot 10^{24} \text{ кг}$. Планеты земной группы существенно отличаются друг от друга составом атмосферы и физическими параметрами у поверхности (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Планета	Состав атмосферы, %					Физические параметры у поверхности			
	CO ₂	N ₂	O ₂	Ar	H ₂ O	давление, атм	температура, К		наличие свободной воды
Земля	0,03	78	21	0,93	0,1—1,0	1	310	240	Гидросфера
Венера	95	3—5	$2 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,01—0,1	95	740		Нет
Марс	95	2—3	0,1—0,4	1—2	10^{-3} — 10^{-1}	$6 \cdot 10^{-3}$	270	200	Ледники, вечная мерзлота

Меркурий — самая малая планета в земной группе — не смогла сохранить атмосферу в том составе, который характерен для атмосферы Земли, Венеры, Марса. Атмосфера Меркурия крайне разрежена и содержит в основном Ar, Ne, He. Из табл. 5.2 видно, что земная атмосфера отличается относительно большим содержанием кислорода и паров воды, благодаря которым существует биосфера и развивается жизнь. Атмосфера Венеры и Марса содержит сравнительно много углекислого газа и мало кислорода и паров воды — все это характерные признаки безжизненных планет. Нет жизни и на Меркурии: отсутствие кислорода, воды и высокая дневная температура (620 К) препятствуют развитию живых организмов. Остается открытым вопрос о существовании каких-то форм жизни на Марсе в отдаленном прошлом. Результаты исследований последних лет показывают, что вопреки прежним представлениям Марс, как и наша планета, обладает дифференцированной корой с высоким содержанием алюминия, кремния и калия, но с пониженным содержанием магния.

Планеты Меркурий и Венера не имеют спутников. Естественные спутники Марса — *Фобос* и *Деймос*.

Планеты-гиганты. Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун относятся к планетам-гигантам. *Юпитер* — пятая по удалению от Солнца и самая большая планета Солнечной системы — находится на среднем расстоянии от Солнца 5,2 а.е. Он является мощным источником теплового радиоизлучения, обладает радиационным поясом и обширной магнитосферой, имеет 28 спутников и два кольца, одно из которых шириной около 60 тыс. км.

Сатурн — вторая по величине планета Солнечной системы. Он имеет кольца, которые хорошо видны в телескоп. Их впервые наблюдал в 1610 г. Галилей с помощью созданного им телескопа. Кольца представляют собой плоскую систему из мелких камней, льдинок размером до 10—20 м. Сатурн имеет 30 спутников и радиационные пояса.

Уран — седьмая по порядку удаления от Солнца планета. Он имеет систему колец. Вокруг него обращаются 16 спутников: 6 из них обнаружены при наблюдении с Земли, а остальные — с помощью космических аппаратов.

Нептун — одна из самых удаленных от Солнца планет имеет 8 спутников. Период его обращения — 164,8 г. Нептун находится на сравнительно большом расстоянии от Земли (около 30 а. е.), что ограничивает возможность его детального исследования.

Современные астрономические средства наблюдений, в том числе космические аппараты, открывают большие возможности дальнейших исследований не только планет-гигантов, но и всей Солнечной системы изученной части Вселенной.

5.7. ЗЕМЛЯ — ПЛАНЕТА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Происхождение Земли. Особое место в Солнечной системе занимает *Земля* — единственная планета, на которой в течение миллиардов лет развиваются различные формы жизни. Известно несколько гипотез о происхождении Земли. Почти все они сводятся к тому, что исходным веществом для формирования планет Солнечной системы, в том числе и Земли, были межзвездная пыль и газы. Однако до сих пор нет однозначного ответа на вопросы: каким образом в составе планет оказался полный набор химических элементов таблицы Менделеева и что послужило толчком для начала конденсации газа и пыли в протосолнечную туманность. Некоторые ученые предполагают, что появление разнообразия химических элементов связано с внешним фактором — взрывом Сверхновой звезды в окрестностях будущей Солнечной системы. По-видимому, в недрах и газовой оболочке сверхновой звезды в результате ядерных реакций происходил синтез химических элементов (*звездный нуклеосинтез*). Мощный взрыв своей ударной волной мог стимулировать начало конденсации межзвездной материи, из которой образовалось Солнце и протопланетный диск, впоследствии распавшийся на отдельные планеты внутренней и внешней групп с поясом астероидов между ними. Такой путь начальной

стадии формирования Солнечной системы называется катастрофическим, так как взрыв Сверхновой звезды — природная катастрофа. В масштабах астрономического времени подобные взрывы — не столь уж редкое явление — они происходят в среднем через несколько миллиардов лет.

Предполагается, что образованию планет из протоплазменного диска предшествовала промежуточная фаза формирования твердых и довольно крупных, до сотен километров в диаметре, тел, называемых *планетези-малями*; последующее их скопление и соударение вызвало *аккрецию* (наращивание) планеты, которая сопровождалась изменением гравитационных сил.

Есть противоположные мнения о тепловом состоянии Земли на разных стадиях ее развития. Вопреки гипотезе Канта—Лапласа об огненно-жидком исходном состоянии Земли, в первой половине XX в. обсуждалась идея об изначально холодной Земле, недра которой в дальнейшем стали разогреваться вследствие тепла, выделяемого при распаде естественных радиоактивных веществ. Однако в этой концепции не учитывалось выделение тепла при аккреции и особенно при соударении планетезималей больших размеров. Возможно, существенный разогрев Земли вплоть до температуры плавления ее вещества произошел уже на стадии аккреции. Предполагается, что при таком разогреве начиналась дифференциация вещества Земли на несколько оболочек и прежде всего на силикатную мантию и железное ядро. При этом нельзя исключать и радиоактивный источник тепла. Выделявшееся тепло повлекло за собой образование газов и водных паров, которые, выходя на поверхность, и формировали воздушную оболочку — атмосферу и водную среду нашей планеты.

Радиоактивным методом установлено, что возраст самых древних пород, найденных в земной коре, составляет около 4 млрд. лет. По оценкам некоторых ученых, формирование Земли длилось 5—6 млрд лет. Понадобились миллиарды лет, чтобы образовалась наша планета — Земля. Земной шар, сплюснутый у полюсов, вращаясь вокруг собственной оси, движется со средней скоростью около 30 км/с в космическом пространстве по эллиптической траектории вокруг Солнца.

Наша Земля удивительна и прекрасна. Такой ее представляли и представляют многие люди. Особенно прекрасной она выглядит из космоса, где впервые побывал советский космонавт Ю.А. Гагарин (1934—1968), совершивший 12 апреля 1961 г. первый в истории человечества полет на космическом корабле «Восток».

Строение Земли. Земля состоит из *земной коры, мантии и ядра*. Земную кору покрывают *гидросфера* — жидкая оболочка (она не сплошная) и *атмосфера* — газовая оболочка. Наша планета до сих пор хранит еще

множество тайн. Проникнуть глубоко внутрь нее даже сегодня не так легко. Глубина современных шахт — всего лишь несколько километров. Самая глубокая скважина в мире пробурена в 1994 г. в России на Кольском полуострове, ее глубина — 12 262 м. Основные сведения о строении Земли, химическом составе ее пород и т.п. добываются косвенными методами, в частности при исследовании колебаний земной коры в процессе землетрясений и анализе химического состава вулканической массы.

Твердая оболочка Земли делится на две основные части: верхнюю — земную кору и нижнюю — мантию. Средняя толщина земной коры — несколько десятков километров. На материках она равна 30—40 км, под Памиром и Андами — 70—80 км, а под океанами — не более 10 км. Поверхностный слой земной коры на континентах сформировался в основном из осадочных пород. В нем сохранились останки вымерших животных, когда-то населявших Землю, и фрагменты погибших растений.

Самая глубинная часть Земли — *ядро*. Его радиус — около 3,5 тыс. км. Оно состоит из внешней оболочки в жидком состоянии и внутреннего твердого субъядра. Температура в центре ядра — примерно 5000 °С, плотность вещества ядра — 12,5 т/м³. По химическому составу субъядро похоже на железный метеорит, содержащий около 80 % железа и 20 % никеля. Внешняя оболочка ядра содержит 52 % железа и 48 % смеси железа с серой. Согласно одной из гипотез, в результате циркуляции потоков расплавленных металлов во внешней оболочке ядра возникает магнитное поле Земли.

Между ядром и земной корой находится *мантия* — самая массивная часть Земли, составляющая около 83 % ее объема. Температура мантии — 2000—2500 °С. Вещество мантии содержит различные силикаты — соединения, включающие кремний. Происходящие в ней процессы обуславливают тектоническое движение, образование магмы и вулканическую активность.

Верхняя часть мантии вместе с земной корой образует *литосферу* — внешнюю сферу твердой части Земли. В соответствии с гипотезой новой глобальной тектоники — науки о развитии структуры земной коры — литосфера состоит из крупных плит, перемещающихся в горизонтальном направлении по *астеносфере* — подстилающем литосферу слое пониженной твердости и вязкости в верхней мантии Земли. *Литосферные плиты* — это крупные (до нескольких тысяч километров в поперечнике) блоки земной коры, включающие не только континентальную, но и сопряженную с ней океаническую кору. На границе их находятся сейсмические, тектонические активные зоны разломов. Из-за смещений литосферных континентальных плит высота, например, Эвереста увеличивается на 2,5—5 см ежегодно.

Как уже отмечалось, температура ядра и мантии очень высокая — тысячи градусов. Казалось бы, все вещества при такой температуре должны находиться в расплавленном и даже газообразном состоянии. Однако субъядро и мантия — твердые образования: вещество в них находится под огромным давлением, при котором температура плавления гораздо выше, чем при нормальном давлении.

Как только давление ослабевает, твердые породы расплавляются. Образуется жидкая раскаленная масса — *магма*. При перемещении вещества в земной коре возникают глубокие трещины с пониженным давлением, где образуется очаг с магмой. Сжатая со всех сторон магма растекается по трещинам, застывая в них в виде жил, а в некоторых местах она прорывается наружу. Так возникает *вулканическое извержение*. *Вулкан* — это своеобразная природная домна, в которой плавится и выбрасывается на поверхность много ценных химических соединений и металлов: железо, свинец, олово, алюминий и т.п. Придет время, и человек будет использовать такие богатства. В результате вулканической деятельности меняется форма рельефа, гор, возникают острова и озера. Так образовалось, например, в 1911 г. Сарезское озеро в самом центре Памира. Глядя на необыкновенной красоты действующий вулкан Фудзияма (Япония), можно сказать, что он обладает некой неземной притягательной силой.

Земная кора — сокровищница разнообразных полезных ископаемых: каменного угля и нефти, газа, руд черных и цветных металлов, минеральных удобрений и т.д. Месторождения каменного угля сформировались в те отдаленные времена, более 200 млн. лет назад, когда на Земле были благоприятные условия для развития растительности. Этот период в геологической истории нашей планеты называется *каменноугольным*. Во влажном и жарком климате необычно разрасталась вечнозеленая растительность, из которой образовались торфяники, превратившиеся потом под действием давления и высокой температуры земных недр в пласты каменного угля. В этот период сформировались каменноугольные бассейны Караганды, Донбасса и др.

Предполагается, что нефть также имеет органическое происхождение: она образовалась из погибших низших растений и животных организмов — водорослей, амёб, червей, личинок и т.д. Огромны запасы в недрах Земли горючих углеводородных газов, широко используемых как топливо и природное сырьё для производства многочисленных органических материалов. Богата наша Земля и ископаемыми минеральными удобрениями — «камнями плодородия». Главные среди них — минералы, содержащие калий и фосфор — питательные вещества для растений. При внесении их в почву повышаются урожаи зерновых, овощей, хлопка и других культур.

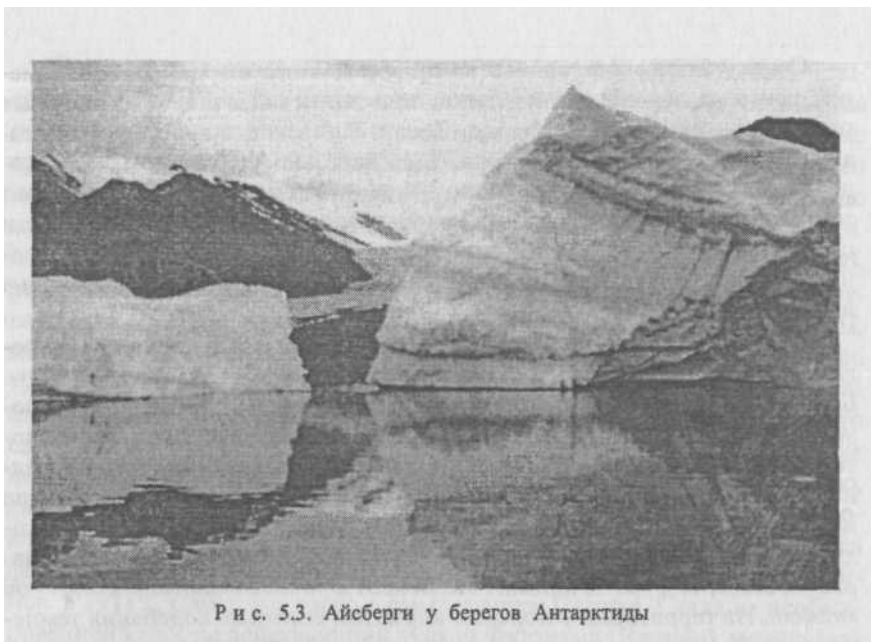
Совокупность всех водных массивов земного шара — океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, болот, подземных вод, ледников и снежных покровов — образует *гидросферу* Земли. Часто под гидросферой подразумеваются только океаны и моря. Действительно, больше всего воды содержится в Мировом океане, около 2 % ее — в ледниках. Много воды под землей. Для своих нужд человек использует главным образом воду рек и пресных озер, которой на Земле чрезвычайно мало — 0,001 % всего водного массива. Вот почему проблема сохранения водных ресурсов — одна из важнейших.

Мировой океан — основная часть гидросферы. В течение года с поверхности Земли и океанов испаряется в воздух около 355 тыс. км³ воды. Большая часть ее — около 90 % — затем выпадает в виде осадков над поверхностью океанов и морей, а остальная влага осаждается на суше и потом реками выносится в океан, уходит под землю, консервируется в ледниках. Такой непрерывный круговорот воды оказывает большое влияние на климат и обмен веществ на всей нашей планете. Водяные пары, находясь в воздухе, задерживают в атмосфере тепло Земли. Чем больше испаряется воды, тем мягче климат. Различают *континентальный* и *морской климат*. На территории с морским климатом сезонные колебания температуры значительно меньше, чем там, где преобладает континентальный климат. Мировой океан образно называют печкой планеты. В теплый сезон года большая масса океанской воды согревается медленнее суши и поэтому охлаждает воздух, а зимой наоборот: теплая вода океана согревает холодный воздух. Причина этого явления — большая теплоемкость воды. Основная доля солнечного тепла поглощается морями и океанами.

Ежедневно в любую погоду происходят морские приливы и отливы. Наибольшие приливы наблюдаются в Англии в устье реки Северн (разница между уровнями воды при приливе и отливе составляет до 16,3 м). Первое научное объяснение морских приливов дал Ньютон. Он доказал, что приливы обуславливаются силой притяжения Луны. Приливы и отливы происходят не только в водной оболочке Земли, но и в твердой, и в воздушной. Под действием сил притяжения Луны даже твердая оболочка нашей планеты дважды в сутки поднимается и опускается на несколько десятков сантиметров.

Реки земного шара ежегодно сбрасывают в моря около 35 тыс. м воды, причем наибольший сток — с Азиатского материка. Второе место занимает Южная Америка — одна Амазонка выносит в океан десятую часть воды всех рек планеты.

Важную роль в жизни людей и их хозяйственной деятельности играют атмосферные осадки. Однако распределение их на земном шаре весьма неравномерно: в одних местах — избыток, а в других — недостаток. Поэтому важно научиться управлять распределением осадков. Управлять



Р и с. 5.3. Айсберги у берегов Антарктиды

таким процессом все же удастся, правда, в небольших масштабах, например, при необходимости над территорией аэропорта или города «прояснить погоду».

Ледяная оболочка планеты называется *криосферой*. Основная масса льда — ледники; они разделяются на горные и покровные. *Горные ледники* — это, по существу, ледяные реки. Спускаясь вниз по склонам, они ведут себя как реки: встречая широкое и ровное пространство, разливаются по нему, а в узких ущельях движутся как горный поток. Правда, движение горных ледников очень медленное. Огромные языки ледников спускаются с высочайших вершин Гималаев, Тибета. Многие сибирские реки берут свое начало в ледниках Алтая и Саян.

Царство *покровных ледников* — арктический и антарктический пояса. Они покрывают всю поверхность арктических островов и Антарктиды, постепенно сползая к океану. В некоторых местах ледниковый покров растекается даже по поверхности моря — так рождаются плавучие ледяные горы — *айсберги* (рис. 5.3). Особенно огромны ледниковые отложения в Антарктиде. Здесь поистине царство льдов, их площадь превышает площадь всей Европы. Антарктида таит в себе много загадок. Когда-то этот континент был покрыт вечнозеленой растительностью, о чем свидетельствуют найденные здесь залежи каменного угля.

Знакомясь с ледяным царством на Земле, нельзя забывать и о его подземных владениях. Районы вечной мерзлоты на земном шаре занимают

четверть суши. На территории нашей страны мерзлота несплошной полосой тянется от побережья Ледовитого океана до Туруханска и Якутска, а отдельные ее островки есть и южнее — у Иркутска, Красноярска, Читы, на берегах Амура. Вечная мерзлота оказалась прекрасным холодильником: тысячелетия он работает так исправно, что сохранились трупы давным-давно погибших животных с мясом, кожей и шерстью. Когда ученые познакомились с тем, что сохранила замерзшая северная земля, они пришли к выводу, что вечная мерзлота не вечна. Она образовалась около 100 тыс. лет назад, когда произошло великое оледенение. Наступившее потом потепление оттеснило льды на острова Ледовитого океана, но под слоем почвы, оттаивающей каждое лето, на севере нашей страны осталась навеки промерзшая земля.

Воздушную оболочку Земли образует *атмосфера*. Она, как одежда, защищает днем поверхность Земли от обжигающих лучей Солнца, а ночью сохраняет тепло, накопленное за день. Воздух спасает нас и от смертельного космического излучения. Без воздушной оболочки Земля была бы мертвой и безмолвной. Ведь все живое не может существовать без воздуха.

Многие мыслители древности считали воздух одним из главных элементов мироздания. Так, по мнению греческого философа Анаксимена (VI в. до н.э.), воздух вездесущ и дает начало всем вещам. В XVII в. было доказано, что воздух имеет массу. Теперь мы знаем, что чем ближе воздух к поверхности планеты, тем он плотнее. Масса 1 м воздуха у земной поверхности составляет в среднем 1,293 кг. На высоте 10 км она снижается до 400 г, а на сорокакилометровой высоте — до 4 г. Основные составляющие атмосферы — азот (78 %) и кислород (21 %). Атмосфера, кроме того, содержит в небольших количествах углекислый газ, аргон, гелий, водород, озон, водяные пары и др.

Самая нижняя часть атмосферы — *тропосфера* — простирается до 8—10 км в полярных широтах и до 16—18 км в тропических широтах. В тропосфере сосредоточено более 1/5 всей массы воздуха. В ней образуются облака, дождь, снег, град, ветер. Поэтому ее справедливо считают «фабрикой» погоды. Следующий слой — *стратосфера* — находится над тропосферой до высоты 50—55 км над земной поверхностью. Здесь неизменно ясно и часто дуют сильные ветры. В стратосфере существуют сезонные и климатические различия: есть своя зима и свое высотное лето, есть свои умеренные широты и зоны экватора. Между тропосферой и стратосферой происходит постоянный обмен воздушными массами. Поэтому к изменению погоды причастна и стратосфера, иногда называемая «кладовой» погоды.

Следующий слой атмосферы — *ионосфера* — начинается на высоте от 50 км и ограничивается сверху магнитосферой — областью, где заметно проявляется магнитное поле Земли. Ионосфера состоит преимущест-

венно из заряженных частиц, обладающих способностью отражать короткие радиоволны, что позволяет осуществить дальнюю радиосвязь. В ионосфере дуют ураганные ветры. Выше ионосферы, начиная с высоты несколько сот километров над Землей, расположена *экзосфера* — зона рассеяния атмосферы, из которой быстро движущиеся атомы водорода могут вылетать в космическое пространство. Следы атмосферы обнаруживаются и выше — на высоте более 10 тыс. км. До высоты 100—200 км газовый состав нашей планеты значительно не меняется. Выше — до 200—250 км — преобладает азот, затем — до 500—700 км — атомарный кислород, а еще выше — гелий. У поверхности «воздушного океана» преобладает самый легкий газ — водород.

Внешняя форма воздушной оболочки Земли не шарообразна, а вытянута с ночной стороны наподобие хвоста кометы. Длина такого своеобразного хвоста — около 100 тыс. км. Предполагается, что он образовался в результате давления солнечных лучей — солнечного ветра.

Деление атмосферы и земного шара на составные части весьма условно. Нельзя провести резкую границу между отдельными частями, хотя каждая из них обладает вполне определенной спецификой. Все они тесно взаимосвязаны друг с другом. Такая связь наиболее сильно проявляется между верхней частью литосферы, гидросферы и нижней части атмосферы, которые образуют область активной жизни, называемую *биосферой*. В биосфере живые организмы и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя целостную динамическую систему. Термин «биосфера» впервые ввел в 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс (1831—1914). Согласно учению В.И. Вернадского, биосфера — активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов, в том числе и человека, проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба и значения.

Земля вместе с атмосферой совершает один оборот вокруг Солнца за один год. А Солнце вместе с большими и малыми планетами совершает путешествие в загадочном космическом пространстве. Так и человек совершает нескончаемое путешествие в уникальную страну знаний, приближающих человечество к тайнам мироздания.

Контрольные вопросы

1. Что называется самоорганизацией?
2. Назовите основные направления исследования самоорганизации.
3. Каким условиям должен удовлетворять объект изучения синергетики?
4. Что такое точка бифуркации?
5. Назовите основные положения концепции развития.
6. Чем отличается самоорганизация от эволюции?
7. Охарактеризуйте основные концепции космологии.
8. Сформулируйте закон Хаббла.
9. Как определяется радиус космологического горизонта?

10. Что такое реликтовое излучение?
11. Каков предполагаемый механизм образования объектов Вселенной?
12. Что представляют собой черные дыры?
13. Какова структура Вселенной?
14. Что такое Метагалактика?
15. К какой галактике относится Солнечная система?
16. Какова особенность пульсаров?
17. Назовите основные виды галактик.
18. О чем свидетельствует рождение сверхновых звезд?
19. Приведите характеристики современных телескопов.
20. В каких диапазонах электромагнитных волн производится наблюдение объектов Вселенной?
21. В чем заключается специфика астрономического наблюдения из космоса?
22. Какова структура Солнечной системы?
23. Дайте краткую характеристику современных гипотез о происхождении Солнечной системы.
24. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов?
25. Какова мощность излучения Солнца?
26. Какие процессы происходят в недрах Солнца?
27. Как отличается по составу атмосфера Земли от атмосферы других планет земной группы?
28. Приведите характерные параметры планет-гигантов.
29. В чем заключается современная гипотеза о происхождении Земли?
30. Каково строение Земли?
31. Что представляют собой литосферные плиты?
32. Дайте краткую характеристику гидросферы Земли.
33. Из каких слоев состоит атмосфера Земли?

6. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ О ВЕЩЕСТВЕ

6.1. РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

История развития знаний о веществе. Естествознание как наука о явлениях и законах природы включает одну из важнейших отраслей — химию. В современном понимании *химия* — наука о превращениях веществ, сопровождающихся изменением их состава и (или) строения.

История развития химических знаний начинается с древних времен, когда в V в. до н.э. древнегреческий философ Левкипп впервые предложил гипотезу атомного строения материи. Гораздо позднее (примерно с III в. н.э.) античному натурфилософскому атомистическому учению о строении вещества противопоставлялась *алхимия* — донаучное направление, получившее развитие в Западной Европе в XI—XVI вв. Основные задачи алхимии заключались в поисках так называемого «философского камня» для превращения неблагородных металлов в золото и серебро, в

создании эликсира долголетия и др. В эпоху Возрождения результаты химических исследований все чаще находили применение в металлургии, стеклоделии, производстве керамики, красок и т.п.

Первое научное определение химического элемента предложил в 1661 г. английский химик и физик Р. Бойль (1627—1691), основоположник экспериментального химического анализа. В современном представлении *химический элемент* — совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра. Основываясь на результатах своих экспериментов, Р. Бойль сделал важный вывод: *качества и свойства вещества зависят от того, из каких химических элементов оно состоит.*

Принято считать, что химия стала подлинной наукой во второй половине XVIII в., когда первый российский ученый-естествоиспытатель М.В. Ломоносов (1711—1765) сформулировал закон сохранения материи и движения, исключив из числа химических агентов флогистон — невесомую материю. Первая химическая теория — *теория флогистона*, согласно которой металлы (железо, медь, свинец и др.) считались сложными веществами, т.е. состоящими из соответствующих элементов и универсального «невесомого тела» — флогистона, оказалась ошибочной. Выяснив роль кислорода в процессе горения, окисления и дыхания, французский химик А.Л. Лавуазье (1743—1794) полностью опроверг теорию флогистона.

В начале XIX в. английский химик и физик Дж. Дальтон (1766—1844) заложил основы химической атомистики. Он впервые ввел понятие «атомный вес», определил атомные массы (веса) ряда элементов и открыл в 1803 г. *закон кратных отношений*:

если два химических элемента образуют друг с другом более одного соединения, то массы одного элемента, приходящиеся на одну и ту же массу другого, относятся как целые числа, обычно небольшие.

В 1811 г. итальянский физик и химик А. Авогадро ввел термин «молекула» и выдвинул молекулярную гипотезу строения вещества. *Молекула* — микрочастица, образованная из атомов и способная к самостоятельному существованию. Атомно-молекулярные представления утвердились лишь в 60-х годах XIX в. В те годы, а именно в 1861 г., выдающийся русский химик А.М. Бутлеров (1828—1896) создал и обосновал *теорию химического строения вещества*, согласно которой

свойства веществ определяются порядком связей атомов в молекулах и их взаимным влиянием.

Немного позднее — в 1869 г. — другой выдающийся русский химик — Д.И. Менделеев (1834—1907) открыл *периодический закон химических элементов* — один из фундаментальных законов естествознания. Современная формулировка этого закона такова:

свойства элементов находятся в периодической зависимости от заряда их атомных ядер.

Заряд ядра равен атомному (порядковому) номеру элемента в Периодической системе Менделеева.

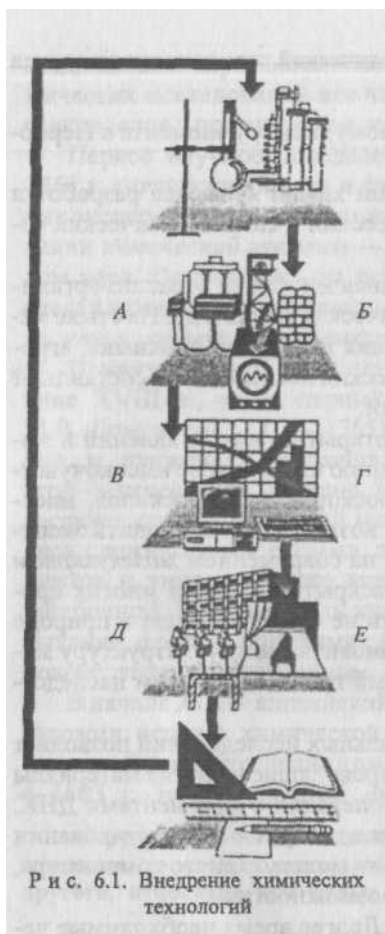
С конца XIX в. важнейшими задачами химии являются разработка способов управления химическими процессами и синтез химических соединений с новыми свойствами.

По мере развития химии формировались многие ее отрасли: органическая химия, физическая химия, аналитическая химия и др. На стыке химических и других отраслей естествознания появились биохимия, агрохимия, геохимия и т.д. Результаты химических исследований составляют основу многих современных технологий.

В последние десятилетия благодаря открытию новых явлений и эффектов, прежде всего физических, и созданию на их основе высокочувствительных приборов (электронных микроскопов, спектроскопов, масс-спектрометров и др.) появилась реальная возможность проводить экспериментальные химические исследования на современном *молекулярном уровне*. Такие исследования позволили раскрыть механизм многих процессов в живом организме, синтезировать не существующие в природе вещества с необычными свойствами, установить сложную структуру молекулы ДНК, расшифровать молекулярный генный механизм наследственности и многое другое.

Молекулярный уровень экспериментальных исследований позволяет создавать не только сверхпрочные, сверхпроводящие и другие материалы с новыми свойствами, но и производить операции с фрагментами ДНК, изменяя ее генетический код. Сегодня уже говорят о конструировании устройств из отдельных молекул и создании молекулярного компьютера, обладающего чрезвычайно большими возможностями.

Масштабы химической индустрии. Долгое время необходимые человеку товары повседневного спроса (продукты питания, одежда, краски и т.п.) производились путем переработки преимущественно природного сырья растительного происхождения. Современные химические технологии позволяют синтезировать из сырья не только естественного, но и искусственного происхождения многочисленную и многообразную по свойствам продукцию, не уступающую по качеству природным аналогам. Потенциальные возможности химических превращений природных веществ поистине безграничны. Все возрастающие потоки природного сырья: нефти, газа, угля, минеральных солей, силикатов, руды и т.д. — превращаются в краски, лаки, мыло, минеральные удобрения, моторное топливо, пластмассы, искусственные волокна, средства защиты растений, биологически активные вещества, лекарства и различное исходное сырье для производства других необходимых и ценных веществ.



Синтез новых химических продуктов — трудоемкий и дорогостоящий процесс. Так, для промышленного производства всего лишь нескольких лекарственных препаратов необходимо синтезировать не менее 4000 разновидностей веществ (для средств защиты растений эта цифра может составлять и 10 000). В недалеком прошлом, например, в США на каждый внедряемый в массовое производство химический продукт приходилось примерно 450 научно-исследовательских разработок, из которых отбиралось всего лишь 98 для опытного производства. После опытно-промышленных испытаний лишь не более 50 % отобранных продуктов находили широкое применение. Однако практическая значимость полученных таким сложным путем продуктов настолько велика, что затраты на исследования и разработку очень быстро окупаются.

Химические технологии и связанное с ними промышленное производство охватывают в основном все важнейшие сферы хозяйственной деятельности. Взаимодействие химических технологий и различных сфер деятельности

человека представлено на рис. 6.1, где введены следующие обозначения: *А* — химическая, текстильная, целлюлозно-бумажная и легкая промышленность, производство стекла и керамики, производство различных материалов, строительство, горное дело, металлургия; *Б* — машино- и приборостроение, электроника и электротехника, средства связи, военное дело, сельское и лесное хозяйство, пищевая промышленность, охрана окружающей среды, здравоохранение, домашнее хозяйство, средства информации; *В* — повышение производительности труда, экономия материалов; *Г* — улучшение условий труда и быта, рационализация умственного труда; *Д* — здоровье, питание, одежда, отдых; *Е* — жилище, культура, воспитание, образование, охрана окружающей среды, оборона.

Приведем несколько примеров внедрения химических технологий. Один из них связан с изготовлением интегральных схем для микроэлектроники с применением химически чистого кремния, которого в природе нет. Однако такой кремний можно получить в результате химического превращения диоксида кремния в виде песка, а это означает, что химические технологии позволяют превратить обычный песок в элементный кремний. Другой характерный пример касается сжигания топлива. Автомобильный транспорт потребляет громадное количество топлива. Что нужно сделать, чтобы добиться минимального загрязнения атмосферы выхлопными газами? Частично проблема решается с помощью автомобильного каталитического конвертора выхлопных газов. Радикальное же ее решение заключается в химическом превращении исходного сырья — сырой нефти — в очищенные продукты. Химические технологии и связанная с ними индустрия вынуждены реагировать на осознанное (особенно в последние десятилетия) стремление общества сохранить окружающую среду.

Представляют интерес некоторые цифры, характеризующие выпускаемую и потребляемую химическую продукцию. Во второй половине XX в. средний горожанин использовал в повседневной жизни 300—500 разнообразных химических продуктов, из них около 60 — в виде текстильных изделий, примерно 200 — в быту, на рабочем месте и во время отдыха, примерно 50 медикаментов и столько же продуктов питания и средств приготовления пищи. Технология изготовления некоторых пищевых продуктов включает до 200 различных химических процессов.

Около десяти лет назад насчитывалось более 1 млн. разновидностей продукции, выпускаемой химической промышленностью. К тому времени общее число известных химических соединений составляло более 8 млн., в том числе примерно 60 тыс. неорганических соединений. Сегодня известно более 18 млн. химических соединений. В последнее время во всех лабораториях нашей планеты ежедневно синтезируется 200—250 новых химических соединений. Все это свидетельствует об огромных масштабах современной химической индустрии.

6.2. СИНТЕЗ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Управление химическими процессами. Современная наука о химических процессах включает фундаментальные знания многих отраслей естествознания и прежде всего физики, химии, биологии и др. Стремление ученых — создать лаборатории живого организма для воспроизведения химических процессов в биологических системах свидетельствует о необходимости применения взаимосвязанных знаний разных естественно-научных отраслей.

Наш соотечественник, лауреат Нобелевской премии по химии 1956 г., выдающийся химик Н.Н. Семенов (1896—1986), создавший общую теорию цепных реакций и основавший химическую физику, считал себя физиком. Он полагал, что химический процесс нельзя рассматривать без восхождения от таких простых объектов, как электрон, нуклон, атом и молекула, к живой биологической системе, ибо любая клетка любого организма представляет собой, по существу, сложный химический реактор. В этой связи химический процесс — это мост между физическим и биохимическим объектами.

Одно из важнейших направлений учения о свойствах вещества — создание методов управления химическими процессами. Успехи в развитии современной химии во многом определяются эффективностью управления химическими превращениями, повышению которой способствует внедрение новых экспериментальных методов с применением современных технических средств контроля и анализа сложных молекулярных структур. Химическое превращение начинается со смешивания реагентов и заканчивается образованием конечных продуктов. В большинстве случаев оно включает ряд промежуточных стадий, и для полного понимания механизма реакции нужны сведения о свойствах промежуточных веществ, образующихся на каждой стадии, протекающей, как правило, очень быстро. Если 20—30 лет назад технические средства эксперимента позволяли проследить за промежуточными молекулами со временем жизни около одной миллионной доли секунды, то современные лазерные источники излучения существенно расширили временной диапазон исследований от 10^{-6} до 10^{-15} с.

При взаимодействии двух химических соединений образование продуктов реакции определяется статистической вероятностью, зависящей от исходного энергетического состояния, возбуждения и взаимной ориентации молекул при столкновениях. Современная вакуумная техника открывает новые возможности для взаимодействия реагирующих соединений при столкновении молекул. В глубоком вакууме, где длина свободного пробега молекул велика, столкновение молекул может происходить в сравнительно небольшом объеме, составляющем зону перекрытия двух молекулярных пучков реагирующих соединений, в которой возрастает вероятность участия каждой молекулы не более чем в одном столкновении, приводящем к реакции. Это означает, что появилась реальная возможность для изучения тонких процессов и управления химическими превращениями.

Определение характеристик атомных и молекулярных частиц (их структуры и состава) в аналитической химии называют *качественным анализом*, а измерение их относительного содержания — *количествен-*

ным анализом. Новые методы качественного и количественного анализа основываются на последних достижениях различных отраслей естествознания и в первую очередь физики. Методы аналитической химии широко применяются в разных отраслях химии, в медицине, сельском хозяйстве, геологии, экологии и т.п.

Для количественного анализа исследуемые сложные смеси и соединения делятся на компоненты. Для этого применяется универсальный метод — *хроматография*. Этот метод впервые предложил российский ученый М.С. Цвет (1872—1919). Его сущность заключается в том, что различные вещества в жидкой или газообразной фазе обладают разной прочностью связи с поверхностью, с которой они находятся в контакте. С помощью хроматографии можно разделить и зафиксировать чрезвычайно малое количество вещества в смеси — около 10^{-12} г. Кроме того, хроматография позволяет разделить многокомпонентные газообразные смеси, содержащие вещества разного изотопного состава

Для анализа и идентификации структуры сложных молекул, объединяющих большое количество атомов с различными взаимными связями, широко применяются основанные на физических принципах экспериментальные методы ядерного магнитного резонанса, оптической спектроскопии, масс-спектропии, рентгеноструктурного анализа, нейтронографии и т.п.

В управлении химическими процессами важную роль играют предварительные расчеты, позволяющие определить свойства синтезируемых молекул. Еще в первой половине XX в. с развитием квантовой теории появилась возможность рассчитывать взаимодействие электронов и атомных ядер при химических реакциях. Однако на практике такие расчеты долго оставались недостижимыми: уж слишком сложны уравнения квантовой механики для комплексных объектов — молекул и даже атомов с множеством движущихся электронов. Решение подобной задачи стало возможным при учете электронной плотности, а не движения отдельных электронов в молекуле или атоме. Такой подход позволяет рассчитывать свойство и структуру даже весьма сложных молекул, например белковых. За решение данной задачи квантовой химии австрийский физик Вальтер Кон и английский математик и физик Джон Попл (оба ученых работают в США) удостоены в 1998 г. Нобелевской премии по химии.

Синтез органических и неорганических соединений. В последние десятилетия активизировались исследования в смежных отраслях естествознания — химии металлоорганических и бионеорганических соединений, химии твердого тела, биогеохимии и др. Неорганические элементы и соединения, из которых в основном состоят объекты неживой природы, играют важную роль в живых организмах, весьма чувствительных, на-

пример, к ионам металлов почти всей Периодической системы элементов Менделеева. Некоторые ионы принимают участие в жизненно важных процессах: связывание и транспорт кислорода (железо в гемоглобине), поглощение и конверсия солнечной энергии (магний в хлорофилле, железо в ферредоксине, медь во фталоцианине), обмен электрическими импульсами между клетками (кальций, калий в нервных клетках), мышечное сокращение (кальций), ферментативный катализ (кобальт в витамине B_{12}) и др.

Важнейший предмет изучения современной неорганической химии биосистем — строение ближнего и дальнего окружения атомов металлов и его изменение под воздействием кислотных агентов, давления кислорода и других факторов. В последнее время быстро развивается химия элементоорганических соединений, для исследования сложнейших структур и связей которых применяются новейшие методы спектроскопии и рентгеноструктурного анализа, позволившие открыть большое семейство соединений с необычайно сложной структурой. Среди них ферроцен — вещество, содержащее атомы железа.

Химики-металлоорганики стремятся создать новые эффективные катализаторы для фиксации азота, т.е. для превращения молекулярного азота N_2 в аммиак NH_3 — исходный продукт для производства удобрений. Другая не менее важная задача — синтез соединений, способных избирательно взаимодействовать с теми молекулами, которые долгое время считались слишком инертными для химических превращений, но представляют и представляют практический интерес. Например, насыщенные углеводороды относительно инертны, не содержат двойных или тройных углеродных связей. Тем не менее удалось синтезировать соединения родия и иридия, содержащие фосфины, карбонилы, и другие соединения, способные расщеплять связи $C-H$ в метане и циклопропане. При сочетании такой важной реакции синтеза с другими видами превращений можно наладить массовое производство насыщенных углеводородов — важнейшего промышленного сырья. Этим способом можно осуществить прямое превращение метана в метанол (метиловый спирт) — ценное сырье для производства многих химических веществ.

Металлоорганические соединения принимают участие во многих промежуточных реакциях. Они богаты электронами, поэтому играют роль посредника в различных процессах переноса электрического заряда.

В последние десятилетия бурно развивается химия композиционных материалов (композитов). К настоящему времени синтезировано множество композитов с уникальными свойствами, среди которых можно назвать неметаллические проводники из чередующихся слоев, многослойную керамику для соединения полупроводниковых систем и др. Осо-

бый интерес представляют композиты на сверхтонких волокнах. Тонкие волокна толщиной 50—100 нм (тоньше человеческого волоса) существенно изменяют свойства вещества, в котором они равномерно распределены. Изучение взаимодействия компонентов в сложных композиционных системах позволяет синтезировать новые материалы с уникальными свойствами.

Один из способов эффективного управления химическими процессами заключается в повышении *селективности* (избирательности) вступающих в реакцию химических соединений. Для реализации такого способа необходимо определить реакционную способность соединений для всех видов химической связи и создать при их взаимодействии оптимальную ориентацию молекул с вполне определенными периодической пространственной конфигурацией и структурой.

Высокая эффективность управления химическими процессами достигается при *фотохимическом синтезе*, основанном на действии электромагнитного излучения, способствующего переходу молекул в возбужденное энергетическое состояние, при котором повышается активность многих химических превращений. При воздействии излучения даже некоторые химически инертные вещества становятся реакционноспособными. В результате фотохимического синтеза получены биологически активные соединения: алкалоид атизин, антибиотики, провитамин D_3 и др. Активность фотохимического синтеза в значительной степени зависит от длины волны возбуждающего излучения. Так, при незначительном уменьшении длины волны от 302,5 до 300,0 нм выход провитамина D_3 увеличивается вдвое.

При воспроизведении природных веществ, обладающих определенными свойствами и выполняющих те или иные функции, процесс управления химическим синтезом включает ряд операций: обнаружение воспроизводимого природного соединения, его химическое выделение, определение химического состава и структуры и, наконец, синтез искусственного вещества с заданными свойствами. Именно так синтезированы многие искусственные вещества: антибиотики, витамины и многие целебные вещества.

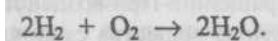
На практике часто требуется только одна из двух зеркальных структурных форм вещества. Например, атом углерода может образовать пару симметричных зеркальных структур. Такой атом называется *хиральным центром*. Характерный пример выделения только одной зеркальной формы — синтез антибиотиков. В природе встречается множество подобных химических соединений. Самое известное среди них — монензин, продуцируемый штаммом бактерий и применяемый для борьбы с инфекционными болезнями в бройлерном производстве.

В управлении химическими процессами большую роль играет катализ, который широко применяется для синтеза огромного разнообразия органических и неорганических соединений.

6.3. СОВРЕМЕННЫЙ КАТАЛИЗ

Общие сведения. *Катализ* — ускорение химической реакции в присутствии веществ — катализаторов, которые взаимодействуют с реагентами, но в реакции не расходуются и не входят в состав конечных продуктов. Термин «катализ» впервые предложил шведский химик и минералог И.Я. Берцелиус (1779—1848). Благодаря катализу повышается скорость реакций даже при невысоких температурах, активизируется образование только определенных продуктов из ряда возможных. Катализ — основа многих химико-технологических процессов, например производства серной кислоты, некоторых полимеров, аммиака и др. Большинство превращений, происходящих в живых организмах, также являются каталитическими (ферментативными).

Хорошо известна реакция между кислородом и водородом, приводящая к образованию воды



Смесь двух объемов газообразного водорода и одного объема кислорода, называемая гремучим газом, способна реагировать со взрывом и выделением большого количества тепла. Однако такая реакция протекает настолько медленно, что даже после продолжительной выдержки этой смеси вряд ли удастся обнаружить хоть какое-нибудь количество воды. Скорость реакции существенно повышается при нагревании реакционной смеси или при воздействии на нее электромагнитного излучения. Аналогичное действие оказывает и катализатор, который помогает преодолеть энергетический барьер, препятствующий началу реакции.

Некоторые промышленные химические процессы осуществляются между газообразными реагентами при наличии твердых катализаторов. Однако на практике обычно осуществляются жидкофазные каталитические процессы. В последние десятилетия не менее 20% всей промышленной химической продукции производят каталитическим способом, причем большая часть — с участием катализа на поверхности твердого тела.

К довольно эффективным катализаторам относятся ионообменные смолы, металлоорганические соединения, мембранные катализаторы. Каталитическими свойствами обладают многие элементы Периодической системы Менделеева, среди которых важнейшую роль играют металлы платиновой группы и редкоземельные металлы.

В технологическом процессе некоторые катализаторы позволяют существенно снизить не только температуру, но и давление. Например, метанол синтезируется с катализатором при давлении 50 атм и температуре

260—290 °С, а без него — при гораздо более высоком давлении — до 1000 атм и температуре 300—400 °С.

Катализаторы существенно ускоряют химические реакции. С участием катализатора скорость некоторых реакций увеличивается в десятки миллиардов раз. Селективные катализаторы оказывают такое же сильное влияние, но лишь на одну из многих конкурирующих реакций. Стереоселективные катализаторы позволяют не просто контролировать состав конечного продукта, но и способствуют образованию молекул с заданной структурой и существенно влияют на их физические и биологические свойства.

Каталитические процессы принято классифицировать с учетом их физической и химической природы. Различают несколько основных видов катализа: гетерогенный и гомогенный, электрокатализ, фотокатализ и ферментативный катализ.

В *гетерогенном катализе* химическая реакция происходит в поверхностных слоях на границе раздела твердого тела и газообразной или жидкой смеси реагентов.

При *гомогенном катализе* исходные реагенты находятся в одной фазе (газовой или жидкой).

В *электрокатализе* реакция протекает на поверхности электрода в контакте с раствором и под действием электрического тока. В нем в отличие от гетерогенного катализа возможно управление химическим процессом при изменении силы электрического тока.

При *фотокатализе* химическая реакция стимулируется энергией поглощенного излучения и может происходить на поверхности твердого тела (в том числе и на поверхности электрода) или в жидком растворе.

Процесс с участием ферментов называется *ферментативным катализом*. Ему присущи свойства как гетерогенного, так и гомогенного катализа. Ферменты — это большие белковые структуры, способные удерживать молекулы реагента в ждущем состоянии до начала реакции. Фермент, кроме того, выбирает подходящие химические вещества для нужной реакции.

Гетерогенный катализ. Одна из важных задач гетерогенного катализа — увеличение эффективной поверхности катализатора. Удельная поверхность катализаторов, широко применяемых в промышленности, равна примерно 150 м²/г. Для некоторых катализаторов на основе активированного угля или молекулярных сит удельная поверхность составляет до 1000 м²/г. Кроме большой активной поверхности катализаторы должны иметь небольшую плотность, высокую прочность и обтекаемость. Совокупностью таких свойств обладают перспективные катализаторы — искусственные цеолиты (молекулярные сита) и пористая керамика.

Гетерогенный катализ известен давно, но только несколько десятилетий назад уникальные методы и приборы открыли путь для экспериментального исследования химических процессов на поверхности твердого

тела. В результате гетерогенного катализа получается, например, из элементарных азота и водорода аммиак NH_3 — важнейший компонент удобрений. При повышенной температуре молекулы N_2 и H_2 реагируют с образованием NH_3 на монокристаллах железного катализатора. Грань кристалла железа (111) примерно в 430 раз активнее грани (110) и в 13 раз — грани (100). Синтез аммиака — один из первых каталитических процессов, внедренных в крупное промышленное производство. Обычно катализатором для такого синтеза служат мелкие частицы железа — тонкодисперсное железо, осажденное на оксиде алюминия с добавкой оксида калия. Синтез аммиака осуществляется при сравнительно высокой температуре — 500°C , поэтому продолжается поиск катализаторов, которые позволили бы снизить температуру синтеза.

К настоящему времени освоено множество катализаторов для промышленного производства ценных химических продуктов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Сырье	Катализатор	Продукт	Производимые материалы
Этилен	Серебро, хлорид цезия	Этиленоксид	Полиэфиры, текстиль, смазки
Пропилен	Молибдаты висмута	Акрилонитрил	Пластики, волокна, смолы
Этилен	Хром, титан	Полиэтилен	Литые изделия
Пропилен	Оксиды титана и магния	Полипропилен	Пластики, волокна, пленки

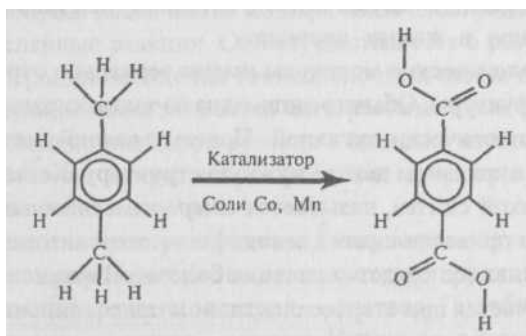
Современные экспериментальные средства позволяют проследить за поведением атомов на поверхности твердого катализатора. Поверхностные атомы могут образовывать химические связи и влиять на свойства молекул. Поэтому поведение молекул реагентов на поверхности твердого катализатора отличается от поведения тех же молекул в растворе или газовой фазе.

Одно из перспективных направлений повышения эффективности катализа заключается в разработке *молекулярных сит* — природных или синтетических материалов, содержащих алюминий, кремний и кислород (алюмосиликаты) и имеющих мельчайшие пустоты и каналы, образующие пористую структуру. Попавшие внутрь пустот и каналов молекулы вступают в химическую реакцию, которая при обычных условиях возможна только при высокой температуре. Форма и размер внутренних полостей не только влияют на селекцию реагентов, но и ограничивают размер частиц конечного продукта, т.е. молекулярные сита — селективные катализаторы. Их применяют, например, для производства высокооктанового бензина в результате крекинга и для превращения полученного из древесины метанола в калорийное топливо.

Давно известно, что частицы чрезвычайно малых размеров, состоящие всего лишь из нескольких тысяч атомов, могут быть активными катализаторами при превращении углеводородов (производство топлива) и синтезе аммиака (производство удобрений). Обычно такие частицы изготавливаются из весьма дорогостоящих металлов: кобальт, никель, родий, палладий и платина. Поэтому ведется поиск дешевых и широко доступных катализаторов.

Современному производству нужны такие катализаторы, которые позволили бы превращать имеющееся в изобилии дешевое сырье в более ценные и полезные химические соединения, а именно: превращать азот в нитраты (производство минеральных удобрений), уголь в углеводороды (производство топлива), метан и метанол в соединения с двумя атомами углерода — этилен, этан, уксусную кислоту и этиленгликоль (промышленное сырье). Для сохранения окружающей среды необходимы каталитические конвертеры для очистки выхлопных газов автомобилей, эффективные катализаторы для удаления оксидов серы и азота, содержащихся в дыме ТЭЦ, и т.п.

Гомогенный катализ. Часто гомогенные катализаторы представляют собой сложные металлосодержащие молекулярные соединения, структура которых позволяет осуществить тонкую настройку реакционной способности реагентов и достичь высокой селективности. Один из крупномасштабных промышленных процессов с применением гомогенного катализа — это частичное окисление параксилола и превращение его в терефталевую кислоту:

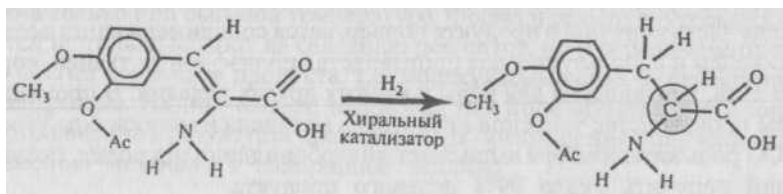


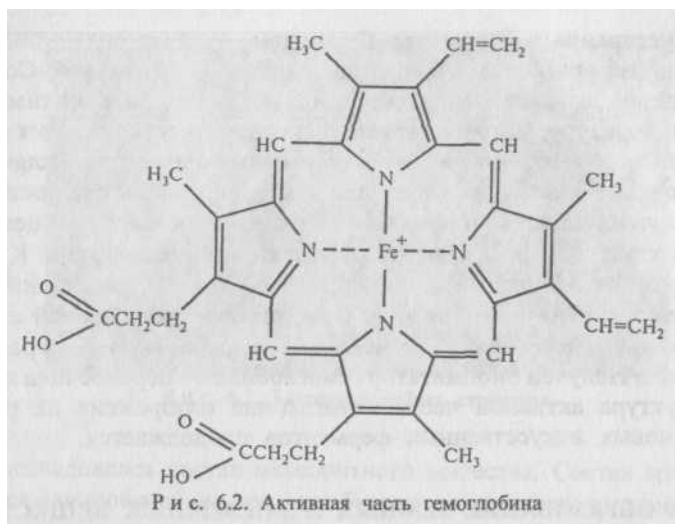
В таком процессе катализатором служат соли кобальта и марганца. Большая часть конечного продукта подвергается сополимеризации с этиленгликолем и используется для производства полиэфирных тканей, корда для шин, контейнеров для воды и многих других изделий. В промышленном производстве уксусной кислоты из метанола и монооксида углерода CO роль катализатора выполняет дикарбонилидиодид родия, позволяющий получить около 99% целевого продукта.

В качестве промышленного сырья было бы весьма заманчиво использовать некоторые широко распространенные вещества: азот, монооксид и диоксид углерода и метан. Однако это относительно инертные вещества, и для их участия в реакции нужны высокоэффективные катализаторы, например, растворимые металлоорганические соединения. Так, при помощи растворимых соединений молекулярного азота с оловом и молибденом удастся синтезировать аммиак. Химические связи углерод—водород в соединениях типа метана и этана, нереакционноспособных в обычных условиях, разрываются родий-, рений-, иридий-органическими комплексами, что повышает их реакционную способность.

Одно из направлений катализа связано с синтезом молекул, ядро которых состоит из нескольких химически связанных атомов металла. Из таких молекул формируются *кластеры*, по размерам превосходящие молекулы гомогенных катализаторов, но меньше частиц металла — гетерогенного катализатора. Во многих металлах — активных гетерогенных катализаторах, а именно в таких, как родий, платина, осмий, рутений и иридий, обнаруживается способность к образованию кластеров. Синтезирован ряд кластеров, получивших название *кубаны*. Ядро молекул кубанов состоит из четырех атомов металла и четырех атомов серы, расположенных в вершинах куба. Структура кубанов получена для железа, никеля, вольфрама и других металлов. К кубанам относится ферредоксин, являющийся функциональной частью белков, катализирующих реакции с переносом электронов в живых системах.

Многие биологические молекулы имеют зеркально отраженные геометрические структуры. Обычно лишь одна из таких хиральных структур оказывается биологически активной. Поэтому важно уметь синтезировать на каждом хиральном центре нужную структуру. Катализатор, обеспечивающий такой синтез, называется *стереоселективным*. В качестве примера можно привести синтез леводофы — стереоизомера аминокислоты — эффективного средства лечения болезни Паркинсона. Молекула леводофы получается при стереоселективном присоединении водорода к двойной углерод-углеродной связи:





Используемый при этом катализатор — растворимое соединение фосфина и родия — приводит к образованию конечного продукта с выходом 96%.

Электрокатализ и фотокатализ. Благодаря химической модификации каталитически активных электродных поверхностей повышается эффективность управления химическими процессами на границе раздела раствор — электрод. Химическая модификация электродов стимулирует вполне определенные реакции. Она осуществляется в результате технологической операции осаждения тонкопленочных слоев, широко применяемой для формирования элементов интегральных схем. Например, осажденный тонкопленочный слой рутения в качестве каталитического покрытия существенно сокращает потребление энергии в производстве хлора и щелочи.

При поглощении электромагнитного излучения полупроводниковыми электродами происходит *фотокатализ*, стимулирующий химические процессы на границе раздела электрод — раствор. Подобный эффект наблюдается на границе раствор—частица. Например, в результате фотокатализа на поверхности диоксида титана обезвреживаются токсичные вещества в стоках (разрушается их структура). Известна идея фотокаталитического превращения воды в кислород и водород под действием солнечного излучения. Водород как экологически чистое топливо (при его сгорании образуется вода) мог бы заменить истощающееся и загрязняющее атмосферу нефтяное топливо.

Искусственные ферменты. Ферменты — естественные биологические катализаторы со сложнейшей молекулярной структурой. Современные экспериментальные средства позволяют определить их химический состав и структуру, что очень важно при синтезе искусственных ферментов. Один из способов создания искусственных ферментов заключается в формировании в больших молекулах профилированных полостей с последующим их заполнением каталитическими связывающими центрами.

Искусственные ферменты называются *биоимитаторами*. К настоящему времени получены, например, биоимитаторы, родственные природному соединению — витамину B_6 и обладающие высокой стереоселективностью. Синтезированы биоимитаторы, участвующие в расщеплении белков. Получен биоимитатор гемоглобина — переносчика кислорода. Структура активной части гемоглобина изображена на рис. 6.2. Синтез новых искусственных ферментов продолжается.

6.4. ОБРАЗОВАНИЕ ЗЕМНЫХ И ВНЕЗЕМНЫХ ВЕЩЕСТВ

Геохимические процессы в недрах Земли и на ее поверхности, представляют собой превращения сложных соединений и смесей, состоящих из кристаллических и аморфных фаз. Многие из них протекают при очень высоких давлениях и температурах. Современные технические средства эксперимента позволяют воспроизвести в лаборатории условия, близкие к условиям внутри Земли и даже земного ядра. Природные процессы: кристаллизация, частичное растворение, изменение структуры минералов (метаморфизм), выветривание и т.п. — приводят к образованию рудных отложений или к их разрушению и рассеянию.

Большой интерес представляют метеориты: они дают необходимую информацию об эволюции небесных тел, находящихся на разных стадиях развития. При этом важную роль играет анализ изотопного состава многих металлов и газообразных веществ, найденных в метеоритах.

Химия внесла и вносит существенный вклад в исследование космического пространства. Без ракетного топлива и современных материалов, способных выдержать огромное давление, высокую температуру и интенсивное космическое излучение, без электрохимических источников энергии, без разнообразных химических средств для обеспечения питания космонавтов мы сегодня смотрели бы на Луну из нашего прекрасного далека. Космос с давних пор стал объектом химических исследований. На стыке химии и астрофизики зародилась новая отрасль естествознания — *космохимия*, изучающая состав космических тел, законы распространности элементов во Вселенной и т.д.

Первые данные о химическом составе небесных тел получены с помощью спектрального анализа. В химических лабораториях, кроме



Р и с. 6.3. Бактериоподобная структура

того, исследовался состав метеоритного вещества. Состав метеоритов оказался единообразным, как если бы они происходили из одного и того же рудника. До сих пор ни в одном метеорите не найден химический элемент, который не встречался бы на Земле. С помощью самых точных методов анализа в метеоритах обнаружены почти все известные на нашей планете химические элементы. Характерная особенность большинства метеоритов заключается в том, что они содержат много чистого железа и очень мало наиболее распространенного на Земле кварца. Вещества, которые указывали бы на существование жизни в космосе, пока не найдены, хотя углерод обнаружен в виде крошечных алмазов, графита и аморфного угля. Относительно недавно появилось сообщение об обнаружении бактериоподобной структуры в метеорите с Марса (рис. 6.3), что является предметом дальнейшей дискуссии о существовании жизни на этой планете в далеком прошлом.

Наиболее часто встречающиеся каменные метеориты, как и большинство земных пород, состоят в основном из силиката магния. Железные метеориты содержат до 90% железа. Содержание никеля в них составляет 6—20%. Кроме того, метеориты содержат кобальт, медь, хром, фосфор, серу, платину, палладий, серебро, иридий, золото и другие элементы. Встречаются включения газов: водорода, оксида и диоксида углерода.

Прямая геологическая разведка небесных тел началась 21 июля 1969 г., когда человек впервые ступил на поверхность Луны и взял пробы лунного фунта. Через год с небольшим прилунилась первая автоматическая станция «Луна-16», возвратившаяся на Землю с образцами лунной породы. Немного позднее, в ноябре 1970 г., на Луну доставлена советская автоматическая станция «Луноход-1», которая, начав свое движение по Луне с северо-западного Моря дождей, обследовала за 321 сутки около

50 га лунной поверхности. Обследования проводились и днем, и ночью при температурах от -140 до 130 °С. Результаты анализа показали, что за исключением несколько повышенного содержания тугоплавких соединений титана, циркония, хрома и железа, лунные породы по своему составу очень похожи на земные. Некоторые различия выявились в свойствах. Так, лунное железо ржавеет медленнее, чем земное. В верхнем слое лунного грунта обнаружен удивительный минерал, получивший название *реголит*. Он имеет сравнительно низкую теплопроводность.

Продолжается исследование планет Солнечной системы. С помощью космического зонда, отправленного к Венере, в результате гамма-спектрального анализа установлено, что грунт Венеры по химическому составу соответствует граниту.

Вещество, находящееся в межзвездном пространстве, состоит из газа и пыли. Наиболее распространенными газами в космическом пространстве являются водород (70 масс. %) и гелий (28 масс. %). В газовых межзвездных облаках обнаружено более 20 химических компонентов. Наряду с простыми химическими соединениями (CO , H_2 , HCN , H_2O , NH_3) в 200 космических газовых скоплениях найдены и более сложные соединения — метанол, изоциановая кислота, формамид, формальдегид, метилацетилен и ацетальдегид. Относительно недавно обнаружены молекулы этилового спирта, муравьиной кислоты и других соединений.

Исследования космохимии носят преимущественно познавательный характер, но нельзя исключать, что в будущем они обретут практическую значимость. Тем не менее уже получены некоторые важные для практики результаты. Например, для химико-фармацевтической промышленности представляет практический интерес более интенсивное развитие бактериальных культур в невесомости, чем на Земле. Металлурги могут получить в невесомости сплавы с уникальными свойствами. Весьма перспективно выращивание в космосе бездефектных монокристаллов, особенно оксидов металлов. По-видимому, в XXI в. будет развиваться новая отрасль естествознания — химия космического синтеза.

6.5. ПРИРОДНЫЕ ЗАПАСЫ СЫРЬЯ

Запасы и потребление сырья. Основная масса сырья для химической промышленности добывалась и добывается из поверхностного слоя земной коры. Доступная современным средствам массовой добычи толщина верхнего слоя земной коры не превышает 2 км. Вещество поверхностного слоя состоит в основном из восьми химических элементов: кислород (47,0 %), кремний (27,5 %), алюминий (8,8 %), железо (4,6 %), кальций (3,6 %), натрий (2,6 %), калий (2,5 %) и магний (2,1 %). Среднее со-

220

держание химических элементов в земной коре хотя и абсолютно велико, но слишком мало для рентабельной повсеместной добычи. Рентабельны лишь те месторождения, где сосредоточены существенные запасы тех или иных полезных ископаемых. Они встречаются редко и неравномерно распределены в поверхностном слое земного шара. Ни одна страна на планете не располагает всеми необходимыми видами природного сырья в достаточном количестве. Тем не менее на территории России находятся многие месторождения наиболее важных видов ценного природного сырья. Некоторые промышленно развитые страны вынуждены ввозить сырье. Например, в США около трети потребляемых металлов: марганца, хрома, кобальта, олова, почти весь алюминий и все большее количество свинца, цинка, вольфрама и другого сырья — импортируется.

Запасы природного сырья, интенсивно добываемого современными техническими средствами во всем мире, быстро исчерпываются — ресурсы Земли хотя и очень велики, но ограничены. Химические элементы в природе, как бы интенсивно они ни эксплуатировались, не уничтожаются, а переходят в различные соединения, мало пригодные для экономического оборота.

Решающую роль в сбережении природных ресурсов должны сыграть новейшие химические технологии. Можно привести примеры, когда они спасали от кризиса промышленное производство. Один из них связан с внедрением содовой технологии в 1789 г. во Франции, которая направила в новое русло производство стекла. До ее внедрения применялось калиевое сырье, вырабатываемое из древесины, что привело к почти полному истреблению лесных массивов. Таким образом, новая технология способствовала, с одной стороны, развитию производства стекла, а с другой — сохранению леса.

Ограниченность природных ресурсов в богатых месторождениях и возрастающая их потребность уже сегодня приводят к необходимости:

- осваивать новые месторождения, в том числе морские шельфы, и добывать сырье, содержащееся в морской воде;
- разрабатывать бедные месторождения;
- увеличивать объемы утилизации отходов;
- ускорить замену дефицитного сырья.

Весьма перспективен для добычи морской шельф, находящийся на глубине до 200 м. Подводные окраины материков, общая площадь которых чрезвычайно велика, в ближайшем будущем станут основным источником многих видов природного сырья.

Металлы. В недрах Земли содержится сравнительно большое количество металлов, но их доля в соединениях, из которых они извлекаются для промышленной переработки, весьма ограничена. При современных темпах и масштабах добычи, по предварительным оценкам, основные за-

пасы таких металлов, как свинец, медь, золото, цинк, олово, серебро и уран, уже в ближайшие десятилетия могут быть исчерпаны. В то же время железо, марганец, хром, никель, молибден, кобальт и алюминий будут добываться в достаточном количестве даже в середине XXI в.

Самое необходимое, важное и широко потребляемое из всего металлического сырья *железо* занимает четвертое место по распространенности в земной коре. Его разведанные и используемые мировые запасы составляют примерно 100 млрд. т. Наибольшими запасами железных руд располагают Россия (примерно 40% всех руд), Австралия, Канада, США и Бразилия. В одной только Курской магнитной аномалии сосредоточено около 30 млрд. т железных руд, т.е. почти 1/3 мировых запасов.

Медь — второй по практической значимости металл. Около 37% его месторождений находится в Чили. Запасы меди весьма ограничены: в известных месторождениях они составляют 210—250 млн. т. При современных темпах потребления ее запасы в ближайшем будущем будут исчерпаны.

Медь как электропроводящий материал можно заменить легким металлом — *алюминием*, которому принадлежит третье место по распространенности в земной коре. Хотя в целом запасы алюминия велики — около 8,8% массы земной коры, однако только 0,008% этой массы содержится в бокситах; их мировые запасы — 6 млрд. т. Примерно треть из них сосредоточена в Австралии. При ежегодном производстве алюминия 15—30 млн. т и темпах его роста до 9% в год запасов бокситов хватит надолго. Тем не менее в настоящее время разрабатываются методы промышленного извлечения алюминия из повсеместно распространенных и практически неисчерпаемых пород: глины, алюмосиликатов вулканических пород, содержащих до 10% алюминия.

Запасы еще одного важнейшего легкого металла — *магния* — достаточно велики — около 2,1 % массы земной коры, и с учетом сегодняшних потребностей их хватит на сравнительно долгое время.

Такие металлы, как титан, неодим, литий, рубидий, европий, тантал и др., в различных производствах не находят широкого применения, хотя в природе они встречаются не так уж редко. Например, природные запасы рубидия примерно в 45 раз больше, чем свинца. Некоторые из этих металлов добываются в сравнительно небольших количествах, так как известны только очень небольшие пригодные для рентабельной разработки их месторождения. Однако эти металлы — весьма перспективные материалы для производства многих современных технических устройств.

Титан — коррозионностойкий материал. Иногда его считают достойным соперником алюминия и стали. Применение титана в химической промышленности за последние десятилетия резко возросло.

Тантал — необходимый компонент особо прочных кислото- и термостойких сплавов.

Платина, палладий и родий широко применяются в качестве катализаторов. Существенная часть родия и палладия извлекается из радиоактивных отходов. Таким же способом можно получить теллур-99 — весьма ценный материал для производства сверхпроводников и коррозионно-стойких сплавов. Например, при весьма незначительной концентрации (до 0,1 мг/л) теллура железные изделия не ржавеют ни в водных, ни в солевых растворах даже при повышенной температуре.

Предполагается, что для добычи сырья некоторых металлов уже в ближайшем будущем существенно возрастет объем работ под водой — на морском шельфе. На глубине до 130 м залегают морские отложения, включающие олово, золото, платину, железо, вольфрам, хром и др. Например, железные и марганцевые тихоокеанские конкреции содержат в среднем около 25% марганца и железа, а никеля, меди, кобальта и титана — 1,5—3,5%. Общие запасы этих конкреций — более 1500 млрд. т. при ежегодном пополнении в 10 млн. т.

В морских водах Земли растворено около 4,5 млрд. т урана, примерно по 3 млрд. т марганца, ванадия и никеля, 6 млрд. т золота (около 1 т на каждого жителя планеты !). Однако концентрация их сравнительно мала. Тем не менее если в будущем опреснение морской воды будет производиться в промышленных масштабах, то отходы этого производства могут стать сырьем, вполне пригодным для рентабельного извлечения металлов.

Неметаллическое сырье. Если металлы применяются преимущественно в химически чистом виде, то неметаллы — сера, фосфор, азот, кислород, хлор и др. представляют ценность в образуемых ими соединениях. Огромные запасы природного неметаллического сырья вполне достаточны для обеспечения химической промышленности в течение относительно длительного периода.

Серу получают в основном в результате переработки серной руды — пирита FeS_2 . Она содержится во многих минералах. Добыча и переработка гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрита CaSO_4 и кизерита $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ вполне рентабельны. Серу можно извлекать и из отходящих газов.

Доступные для разработки современными средствами *фосфорные* месторождения содержат около 60 млрд. т фосфорного сырья P_2O_5 . Примерно 2/3 промышленной фосфорной продукции приходится на страны

бывшего СССР и США.

Один из важнейших видов неметаллического сырья — *азот*. Он входит в состав белков, минеральных веществ, широко применяемых для производства удобрений и т.п. Хотя в земной коре доля азота сравнительно мала (около 0,03 %) и его расходы относительно велики, проблема ис-

тошения вряд ли возникнет, поскольку окружающая атмосфера содержит около 78 % азота.

Кислород — важнейшее химическое сырье. Многие химические реакции — процессы окисления — протекают при прямом или косвенном его участии. Кислород — это самый распространенный элемент. Его доля в земной коре — примерно 47 %. Однако значительная часть кислорода связана в виде различного рода соединений, в том числе и продуктов горения. Атмосферный кислород составляет лишь 0,013 % общего количества, что вполне достаточно для полного превращения в оксид углерода органической массы углерода. Запасы кислорода постоянно обновляются благодаря процессам жизнедеятельности растений. Например, 1 га леса поставляет около 60 т кислорода в год. Кислород пополняется и при ультрафиолетовом расщеплении паров воды в атмосфере.

С увеличением объема производства соляной кислоты и винилхлорида потребность в другом неметаллическом сырье — *хлоре* — постоянно возрастает. Запасы хлорного сырья вполне достаточны. Огромное количество хлора имеется в соляных залежах и в морской воде, 1 т которой содержит 30 кг соли NaCl.

Все большее практическое значение приобретают искусственные строительные материалы: гипс, цемент, бетон и др. Необходимое для них сырье (песок, гравий, щебень, глина, галька, известняк, доломит) имеется в сравнительно больших количествах повсеместно, и проблема заключается не столько в количестве сырья, сколько в его территориальном расположении и транспортировке.

Для производства большинства видов химической продукции требуется вода. Она служит растворителем, теплоносителем, исходным сырьем для получения кислорода, водорода и т.д. Химическая промышленность по потреблению воды промышленными предприятиями занимает второе место после энергетики. Каковы же водные ресурсы нашей планеты? Океаны, моря, реки, озера и лед покрывают примерно 3/4 поверхности

Земли. Если все количество воды, по некоторым оценкам составляющее 1 386 млн. м³, равномерно распределить по поверхности земного шара, то толщина слоя воды окажется равной примерно 2 700 м. Доля же пресной воды в такой огромной водяной массе сравнительно невелика. Для повседневного потребления расходуются лишь небольшая часть пресной воды, совершающей непрерывный круговорот в природе. В то же время водные ресурсы распределены неравномерно, и часть их находится в непригодном для прямого потребления состоянии из-за большого содержания минеральных солей (что определяется природными условиями) и высокой степени загрязнения. Поэтому проблема водоснабжения населения связана с транспортировкой, очисткой воды и сохранением водных ресурсов.

Углерод. Углерод по распространенности в природе занимает тринадцатое место. На его долю приходится 0,087% массы земной коры, из которых около 99,5 % содержится в карбонатных породах (карбонатах кальция и магния), 0,47 % составляет диоксид углерода в атмосфере и в воде, 0,02% приходится на уголь, нефть и газ и 0,01 % — на биосферу.

Рациональное использование запасов углерода возможно при выполнении следующих условий:

- химические технологии должны обеспечить синтез разнообразных необходимых соединений из любого имеющегося углеродного сырья;
- для химической промышленности следует применять огромные запасы повсеместно встречающихся карбонатов;
- для энергетики нецелесообразно потреблять углерод, связанный в органические ископаемые соединения.

В действительности же и энергетика, и химическая промышленность интенсивно потребляют горючие ископаемые: уголь, нефть и природный газ. Причем производство углеводородов из нефти и газа экономически гораздо более выгодно, чем из угля. Производительность труда в нефтехимии примерно в 12—16 раз выше, чем в химии карбонатов. Быстрыми темпами растет потребление природного газа. Он используется для производства электроэнергии и бытовых нужд, а также как сырье для промышленного производства ацетилена, формальдегида, метанола, синильной кислоты, водорода и т.д.

На смену нефти и природному газу придет уголь, и лидирующее место займут химические технологии по переработке угля. Уже разработаны способы эффективного производства моторного топлива и других химических продуктов при переработке угля. Запасы угля гораздо больше, чем нефти и природного газа, но все же они ограничены.

Чего же следует ожидать после истощения богатых ресурсов природного газа, нефти и угля? Вероятно, углерод будет извлекаться и из карбонатов, когда их химическое превращение станет энергетически выгодным. Уже наметились пути уменьшения затрат энергии при их переработке. На стадии разработки находится каталитический метод превращения углекислого газа CO_2 воздуха в полезные органические соединения без высоких температур и давления. Не следует забывать об углероде, накопленном в биосфере. Растительный мир Земли можно рассматривать как непрерывно работающие химические фабрики, потребляющие энергию Солнца и благодаря фотосинтезу производящие многие органические вещества естественного происхождения. При рациональном потреблении продукции таких фабрик хватит на продолжительный срок.

Вторичное сырье. В результате интенсивного потребления сырьевых запасов земных недр накапливается огромное количество отходов промышленных предприятий, городов и многочисленных населенных

пунктов. Например, в России ежегодно образуется около 7 млрд. т отходов, из которых только 2 млрд. т перерабатывается. Одна из главных задач современных промышленных и хозяйственных предприятий — включить отходы в промышленный оборот, что, очевидно, будет способствовать сохранению природных ресурсов.

Среди многообразия вторичного сырья металлы занимают первое место по потреблению. За счет них покрывается существенная доля потребностей промышленности.

К сожалению, значительную часть (около половины) растительной массы — древесины — составляют ее отходы. Ветки, пни, листья деревьев остаются в лесу, а опилки, стружка чаще всего составляют отходы деревообрабатывающей промышленности. В производстве целлюлозы лишь 1/4 общей массы древесины переходит в конечный продукт, при этом

теряется большое количество весьма ценных ароматических соединений. Поэтому одна из важнейших задач — более эффективная переработка древесины. Древесина служит сырьем не только для бумажной промышленности, но и для производства строительных и столярных материалов, белковой массы, активированного угля, множества медикаментов и т.п. Но все-таки относительно большая доля древесины идет на производство бумаги и картона. Отработана технология переработки использованной бумаги и картона, и их утилизация особенно важна: 50 тыс. т макулатуры экономят 120 тыс. м³ древесины и тем самым берегут 500 га леса. К сожалению, таким ценным вторичным сырьем часто пренебрегают.

Весомый сырьевой потенциал представляют собой зола и шлаки, остающиеся после сжигания угля. Лишь незначительное их количество находит применение, в то время как на их утилизацию расходуются большие средства. Определенную часть золы, например, можно было бы использовать в качестве наполнителя цемента. Так, 1,3 т золы бурого угля, извлеченной из дымовых газов, заменяет 1 т цемента. Кроме того, такая зола содержит 5—30 % оксида железа, около 30 % извести и заметное количество коксованного остаточного угля. Железная руда, известь и кокс — это главные сырьевые компоненты для металлургии. Следовательно, большое практическое значение имеет извлечение железа и силикатных строительных материалов из зольного и шлакового вторичного сырья.

Из нефтяных отходов в хозяйственный цикл возвращается 25—35 %, хотя этот показатель повторного их применения мог бы быть гораздо выше.

В настоящее время выпускаются большие объемы пластмассовой продукции. Однако не все виды пластмасс поддаются утилизации. Если полистирол, поливинилхлорид и другие пластмассы успешно возвращаются в промышленность (из них изготавливают различного рода покры-

тия), то полиуретан и различные искусственные волокна гораздо труднее поддаются повторной переработке.

Сбор и переработка вторичного сырья, конечно, требуют капиталовложений. Однако следует помнить, что применение некоторых видов вторичного сырья обходится все же дешевле, чем переработка первичного сырья. Утилизация вторичного сырья, т.е. обеспечение новой жизни старым вещам, предметам и изделиям, — вовсе не признак бедности, а свидетельство прежде всего разумного рационального эффективного управления хозяйством в государственном масштабе.

6.6. ОРГАНИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

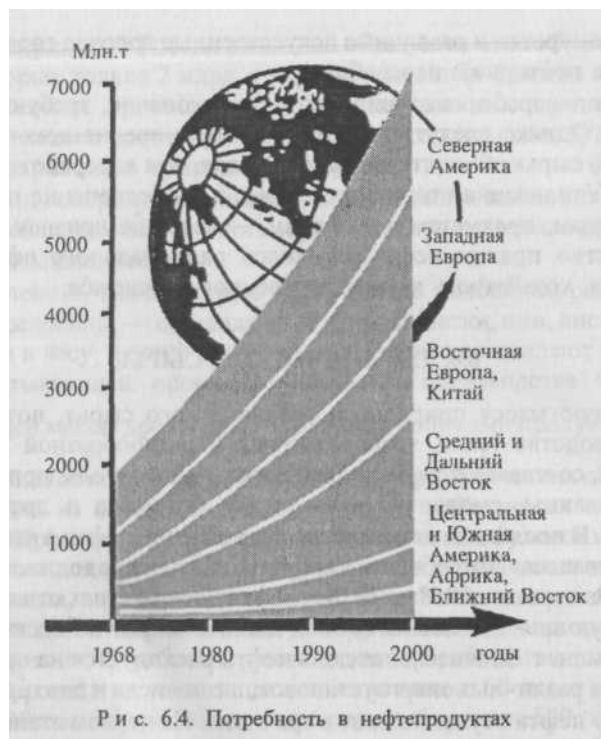
Основную массу природного органического сырья, потребляемого для производства тепла, электроэнергии и разнообразной химической продукции, составляют горючие вещества: нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы, смоляные пески, торф, биомасса и древесина.

Нефть. В последние десятилетия потребление нефти в мире постоянно увеличивалось. Потребность в нефтепродуктах продолжает возрастать (рис. 6.4). За период с 1968 по 1978 г. нефти добыто столько же, сколько за предшествующие 110 лет. В 2000 г. добыча нефти в России составила около 300 млн. т. Значительная доля нефти расходуется на производство топлива для различных энергоустановок, в том числе и для транспорта.

Добычу нефти осуществляют в три этапа. На первом этапе извлекается 10—30 % нефти при естественном давлении из природного резервуара, заполненного сложными образованиями из пористых пород. На втором этапе при закачивании в скважины воды, газа или пара нефть выталкивается на поверхность, что позволяет получить дополнительно до 35 % разведанных запасов. На третьем этапе применяют поверхностно-активные вещества и полимерные растворители для извлечения нефтяных фракций из водной среды.

Сырая нефть чаще всего представляет собой маслянистую жидкость, состоящую преимущественно из сложной смеси углеводов-алканов с линейной структурой и в основном с одинарными связями. Кроме алканов нефть содержит разветвленные и циклические углеводороды, а также алкены и ароматические вещества.

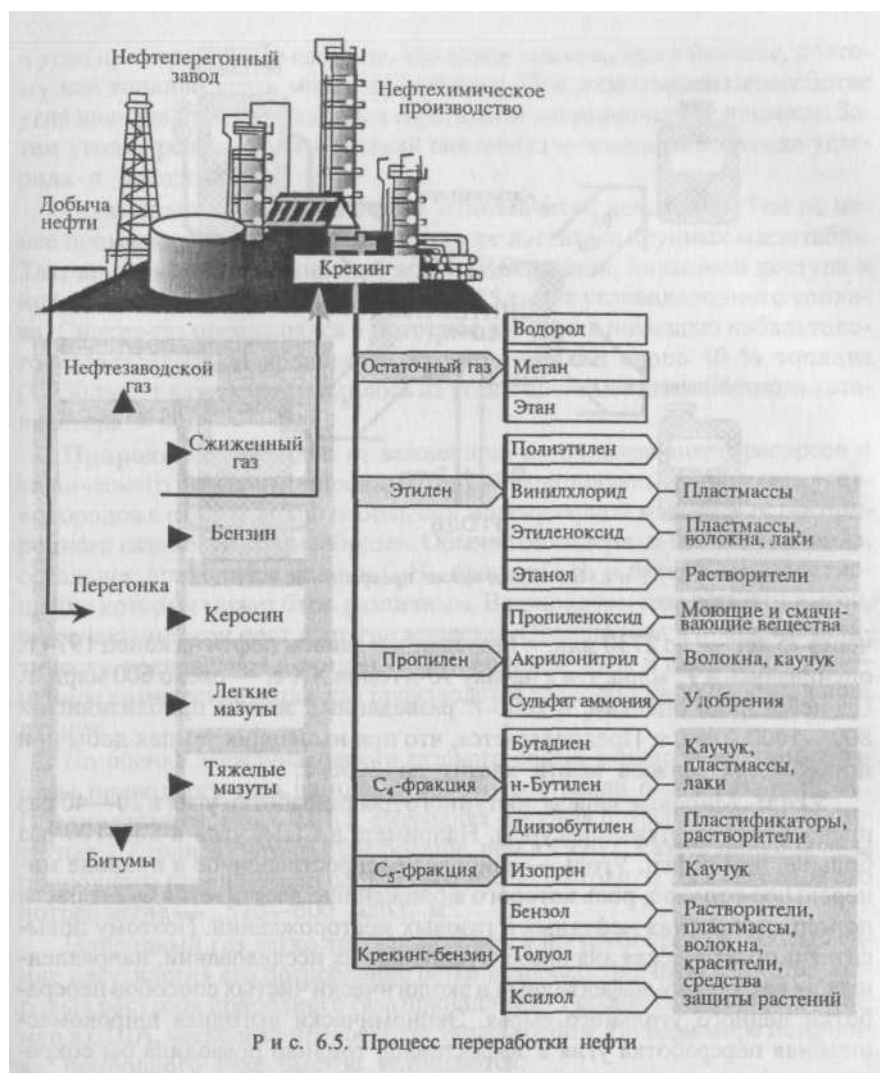
Процесс переработки нефти, называемый *крекингом*, начинается с перегонки, при которой различные компоненты нефти разделяются на фракции в соответствии с их температурой кипения. Вначале извлекаются наиболее летучие углеводороды, один из них октан C_8H_{18} . По октановому эквиваленту оценивается качество моторного топлива. В процессе переработки удаляются различные примеси, включая серу, и в результате каталитического крекинга производится расщепление больших молекул,



при котором образуются соединения с более низкой температурой кипения.

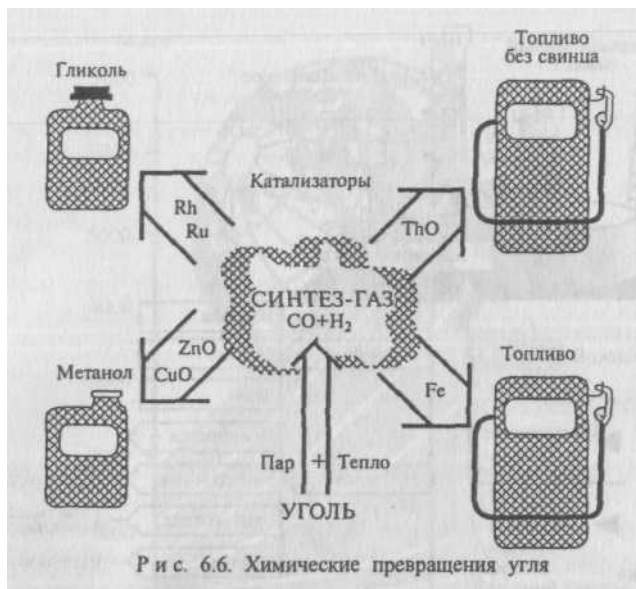
Для переработки нефти используются катализаторы из платины, палладия, родия и иридия. С применением платинового катализатора алканы превращаются в углеводороды с лучшими горючими свойствами и большим октановым числом. Относительно недавно освоены новые каталитические процессы с применением цеолитовых молекулярных сит (алюмосиликатов), платинорениевого/платиноиридиевого и платина /палладий/ родиевого катализаторов. В последнее время в добываемой нефти возрастает доля нефти с относительно большой концентрацией примесей серы, хлора, ванадия, никеля и др., затрудняющих процесс катализа. Поэтому технологический цикл переработки нефти необходимо совершенствовать, чтобы производить высокооктановое топливо, продукты сгорания которого не загрязняли бы окружающую среду.

В результате переработки нефти получается более двух десятков основных соединений. Наиболее важные из них — олефины, диолефины (этилен, пропилен, бутадиен, изопрен), ароматические соединения (бен-



зол, толуол, ксилол) и газовая смесь оксида углерода с водородом (рис. 6.5). На основе этих соединений синтезируются тысячи видов промежуточных и конечных продуктов. В настоящее время около 90 % всех органических соединений производится из нефти и природного газа.

Вплоть до середины XIX в. нефть использовалась преимущественно как колесная мазь и в лечебных целях. В 1860 г. мировая потребность в ней составляла около 70 тыс. т. К концу XIX в. она возросла до 21 млн. т и



Р и с. 6.6. Химические превращения угля

через 75 лет — до 2730 млн. т. Разведанные запасы нефти на конец 1974 г. оценивались в 97 млрд. т, а к началу 90-х годов XX в. — около 600 млрд. т. По некоторым оценкам, в 2000 г. разведанные запасы приблизились к 800—1000 млрд. т. Предполагается, что при нынешних темпах добычи и потребления запасов нефти хватит до 2050 г.

Уголь. Мировые запасы доступного для разработки угля в 20—40 раз превосходят нефтяные ресурсы. Например, в США угля в 50—100 раз больше, чем нефти. Уголь — наиболее распространенное в природе минеральное топливо, роль которого в ближайшие десятилетия будет расти по мере истощения нефтяных и газовых месторождений. Поэтому повысится и практическая значимость прикладных исследований, направленных на разработку эффективных и экологически чистых способов переработки ценного угольного сырья. Экономически выгодная широкомасштабная переработка угля в эффективное топливо позволила бы сохранить нефть для производства многих видов сырья для химической промышленности и сократить потребление нефтепродуктов в качестве топлива. С развитием химической технологии уголь станет одним из важнейших источников сырьевых продуктов, которые в настоящее время получают в основном из нефти (рис. 6.6).

Уголь — твердое горючее, полезное ископаемое растительного происхождения, содержит кроме углерода и водорода, серу и азот, а также некоторое количество минералов и влаги. Соотношение водород/углерод

в угле примерно равно единице, что вдвое меньше, чем в бензине, поэтому как топливо уголь менее эффективен. При химической переработке угля вначале из него удаляются сера, азот и неорганические примеси. Затем уголь превращается в жидкий синтез-газ — смесь монооксида углерода и водорода.

Производство синтез-газа пока экономически невыгодно. Тем не менее промышленная переработка угля уже достигала крупных масштабов. Так, во время Второй мировой войны в Германии, лишенной доступа к источникам нефти, из угля получено 585 тыс. т углеводородного топлива. Синтез-газ превращался в моторное топливо с помощью кобальтового катализатора. В недалеком прошлом в ЮАР около 40 % топлива (1 750 тыс. т в год) производилось из угля с применением железного катализатора.

Природный газ. Один из важнейших источников энергоресурсов и химического сырья — природный газ — представляет собой смесь углеводородов с относительно небольшой молекулярной массой. Состав природного газа весьма разнообразен. Обычно он содержит 60—80 % метана, остальное приходится на этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 и бутан C_4H_{10} , соотношение которых может быть различным. В природном газе есть и примеси, включающие серу, азот и другие вещества. Обычно этан и пропан каталитически превращают в этилен C_2H_4 , пропилен C_3H_6 и ацетилен C_2H_2 — ценное химическое сырье для производства разнообразной полезной продукции.

По оценке Международного газового союза, общие разведанные запасы природного газа на начало 1999 г. составили около 260 трлн. m^3 . Предполагается, что к 2015 г. ежегодная мировая потребность в газе достигнет 3,7 трлн. m^3 , что на 80% больше, чем в 1990 г. Разведанные запасы природного газа в России составляют около 50 трлн. m^3 , а ежегодное его потребление — 570—600 млрд. m^3 .

Природный газ легко транспортируется по трубопроводу. В последние десятилетия его потребление резко возросло. Значительная доля мировых ресурсов природного газа принадлежит России. Его запасы, например в США, несколько превосходят запасы нефти. Во всем мире источники природного газа быстро истощаются.

Горючие сланцы, смоляные пески и торф. К одному из неосновных источников энергоресурсов и химического сырья относятся *горючие сланцы* — разновидность осадочных горных пород. Из них производят жидкие углеводороды. Например, в сланцах только трех штатов — Колорадо, Юта и Вайоминг — содержится около 60 млрд. т углеводородов. Однако для широкомасштабной промышленной добычи и переработки горючих сланцев еще предстоит решить сложные химические, геохимические и многие технологические проблемы.

Горючие сланцы образовались из древних морских отложений ила и различной растительности. Кроме основной углеводородной составляющей они содержат кероген — смесь нерастворимых органических полимеров и небольшое количество битума. При разработке сланцевых отложений возникает проблема сохранения чистоты водных ресурсов и почвы, так как из тонны сланцев извлекается количество масла, эквивалентное 40—160 литрам сырой нефти; кроме того, сланцевое масло содержит многие примеси, органические соединения азота и серы, а также опасные для здоровья человека соединения мышьяка.

Смоляные пески состоят из остаточных асфальтовых фракций нефти. При освоении их залежей возникают те же проблемы, что и при добыче и переработке горючих сланцев. Поэтому смоляные пески, как и горючие сланцы, пока не нашли широкого применения.

К горючим полезным ископаемым относится *торф*, мировые запасы которого составляют около 500 млрд. т (1990 г.), в том числе свыше 186 млрд. т в России. Торф образуется при скоплении остатков растений, подвергшихся неполному разложению в условиях болот, и содержит 50—60 % углерода. Используется торф как топливо, удобрение и теплоизоляционный материал. По калорийности он уступает углю и нефтяному топливу.

Биомасса. Биомасса — один из потенциальных источников химического сырья и энергоресурсов. Из нее в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий, называемой анаэробным дыханием, ежегодно в атмосферу выделяется 500—800 млн. т метана, эквивалентного 0,6—1,0 млн. т высококачественной нефти. Однако практическое применение анаэробных процессов для производства метана из биомассы, включающей различные растительные отходы (древесные отходы, отходы сельскохозяйственного производства, пищевые отходы и т.п.), сдерживается относительно небольшой их скоростью и высокой чувствительностью к кислотности среды. Химическая переработка биомассы как источника углеводородного топлива и химического сырья особенно важна, если учесть, что в атмосфере повышается концентрация углекислого газа, приводящего к парниковому эффекту. Сжигание продуктов переработки биомассы не приводит к существенному нарушению баланса углекислого газа в атмосфере: весь углерод биомассы, превращающийся в углекислый газ, извлекается из воздуха в процессе роста биомассы. Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере за последние десятилетия обусловливается сжиганием чрезвычайно большого количества минерального топлива.

Возможно, в скором будущем в результате специальных операций генных технологий удастся выращивать гибридные растения, пополняющие продовольственные ресурсы и биомассу при одновременном потреб-

лении углекислого газа из атмосферы, что будет сдерживать рост его содержания в атмосфере.

Древесина. Лесные массивы — не только источник громадных природных энергоресурсов и химического сырья, но и один из основных поставщиков кислорода, необходимого для обеспечения жизнедеятельности множества живых организмов. Лесная древесина — превосходный строительный материал и органическое сырье для производства многих ценных продуктов. Однако, к сожалению, лесные массивы часто истребляют пожары и беспощадно вырубает человек. Например, в Бразилии ежегодно вырубают около 15 тыс. км² тропического леса. Во многих странах древесина — один из основных видов топлива.

Россия — единственная в мире лесопромышленная страна, где занятые под леса площади не уменьшаются, а растут — за последние годы санкционированная вырубка леса сократилась в несколько раз. Несанкционированная вырубка леса, особенно в последнее десятилетие, из-за экономического кризиса в России существенно возросла. Россия теперь не отгружает бесплатный крепежный лес шахтам Донбасса, шпалы — железным дорогам Средней Азии и ценные породы дерева мебельным фабрикам Польши и Венгрии. И если такая тенденция сохранится, то площадь российских лесов, составляющая пока чуть больше 1/5 лесных массивов планеты, может вырасти к 2010 г. на треть.

Древесина сегодня, как это не удивительно, в огромных количествах потребляется в качестве дров, причем даже в развитых странах. Это происходит в относительно холодной Финляндии, лидирующей в использовании древесины на топливо, и в теплой Франции, где сжигается почти четверть заготавливаемой в стране древесины (французы очень любят сидеть у камина!). Но особенно много древесины идет на дрова в бедных странах Азии и Африки, где в сельских районах нередко нет ни газа, ни электричества и древесина — единственный источник тепла для отопления жилища и приготовления пищи. В Бангладеш, например, на топливо используется почти вся добываемая древесина, в результате в ближайшем будущем этой стране грозит настоящая экологическая и энергетическая катастрофа. Подобная ситуация и в Индии, где на дрова переводят более 90 % добываемой древесины. Ведь там дрова идут не только на приготовление пищи и на отопление, но и на огромные костры (к тому же, как правило, из ценных пород дерева), на которых по традиции кремируют умерших. В России, несмотря на суровый климат и отнюдь не повсеместный комфорт, на дрова потребляется не более 21 % всей древесины, поскольку цены на нее растут, особенно на лесоматериалы, и еще больше — на древесину, пригодную для производства мебели.

Ценнейшее свойство лесов заключается в способности поглощать углекислый газ и выделять кислород. Промышленные выбросы углекисло-

го газа заводами, электростанциями и автомобилями уже не компенсируются фотосинтезом растительности. Леса очищают воздух и тем самым способствуют сохранению естественного состояния окружающей среды. Подсчитано, что один гектар леса поглощает такое количество вредных газов, на техническую очистку от которого надо затратить около трех тысяч долларов. В ООН уже рассматривалось предложение о необходимости введения налога на углекислый газ, с тем чтобы тратить средства на восстановление леса. Однако большинство стран предпочитает использовать очистительные способности чужих лесов задаром. Но все же наиболее эффективные меры сохранения леса — бережное отношение к нему, рациональное потребление древесины и непрерывное его восстановление.

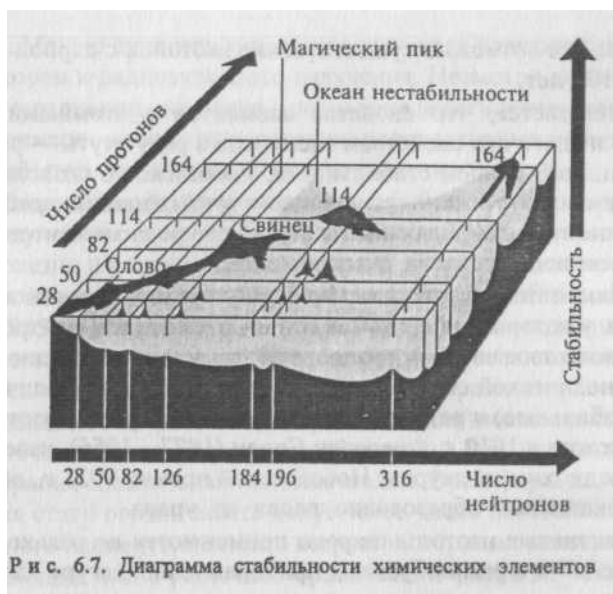
6.7. НОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Продолжение Периодической системы элементов. Вещественная среда обитания людей содержит многочисленные соединения и их составляющие — химические элементы. Еще до 30-х годов XX в. Периодическая система Менделеева состояла из 88 элементов. С учетом свободных клеток с номерами 43 (технеций), 61 (прометий), 85 (астат) и 87 (франций) в ней было всего 92 места. Последним элементом с атомным номером 92 был уран.

Предполагается, что на первой стадии развития Земли существовали и трансурановые элементы с порядковыми номерами до 106. Однако из-за небольшой продолжительности жизни по сравнению с возрастом Земли они полностью распались. Самым долгоживущим элементом из них оказался плутоний-244 с периодом полураспада 82,2 млн. лет, и его существование в настоящее время доказано: он обнаружен в 1971 г. в калифорнийском минерале бастнезите.

В 1940 г. получен первый трансурановый элемент — нептуний, а за три года до этого получен первый искусственный элемент — технеций. Затем в лабораторных условиях зарегистрированы трансурановые элементы с атомными номерами до 109. В Объединенном институте ядерных исследований в Дубне открыты элементы с номерами 104(1964), 105(1970), 106(1974) и 107(1976).

Международный союз чистой и прикладной химии в сентябре 1997 г. узаконил названия искусственных сверхтяжелых элементов: резерфордий (104), дубний (105), сиборгий (106), борий (107), хассий (108) и мейтнерий (109). Эти названия даны главным образом в честь ученых, внесших значительный вклад в ядерную физику. Один из них — дубний — назван в честь города Дубна, где были открыты многие новые химические элементы. В феврале 1999 г. появилось сообщение: ученые из



Р и с. 6.7. Диаграмма стабильности химических элементов

Объединенного института ядерных исследований в Дубне открыли выходящий за пределы Периодической системы Менделеева новый химический элемент с периодом полураспада намного большим, чем у открытых в последнее время сверхтяжелых элементов.

Трансурановые элементы с атомными номерами до 100 можно получить в ядерном реакторе путем «настройки» ядер изотопа урана-238 при столкновении их с нейтронами. Все элементы с номерами выше 100 и массовыми числами более 257 получают только в ускорителях и в незначительных количествах. Для получения сверхтяжелых трансуранидов ядра урана бомбардируются ионами ксенона, гадолиния, самария, урана и др., которые обладают достаточно высокой энергией. Особенно эффективна бомбардировка ионами самого урана, в результате которой образуются тяжелые промежуточные ядра.

В стабильных атомных ядрах заряженные и нейтральные частицы находятся в равновесном состоянии. С нарушением равновесия ядерная система становится неустойчивой. Современная теория позволяет рассчитать условия стабильности сверхтяжелых ионов и элементов, а также предсказать наиболее вероятные их физические и химические свойства. Из подобных расчетов следует, что элементы с атомными номерами, близкими к 114 и 164, должны обладать неожиданно высокой стабильностью (рис 6.7). Такие элементы образуют своеобразные *острова ста-*

бильности, где возможно существование изотопов с периодом полураспада до 10^8 лет.

Предполагается, что свойства элементов с атомными номерами 112—118 аналогичны свойствам элементов в ряду ртуть — радон. Верхняя граница возможной стабильности, насколько ее позволяет определить современный уровень естественно-научных знаний, приближается к атомному номеру 174. Для синтеза подобного рода элементов нужны новые технические средства эксперимента.

Радиоактивные изотопы. *Изотопы* — разновидности химических элементов, у которых ядра атомов отличаются числом нейтронов, но содержат одинаковое число протонов, и поэтому занимают одно и то же место в Периодической системе элементов Менделеева. Различают устойчивые (стабильные) и радиоактивные изотопы. Термин «изотопы» впервые предложил в 1910 г. Фредерик Содди (1877—1956), известный английский радиохимик, лауреат Нобелевской премии 1921 г., экспериментально доказавший образование радия из урана.

Радиоактивные изотопы широко применяются не только в атомной энергетике, но и в разнообразных приборах и аппаратуре для определения плотности, однородности вещества, его гигроскопичности и т.п. С помощью радиоактивных индикаторов можно проследить за перемещением химических соединений в физических, технологических, биологических и химических процессах, для чего в исследуемый объект вводят радиоактивные индикаторы (меченые атомы) определенных элементов и затем наблюдают за их движением. Этот способ позволяет исследовать механизмы реакций при превращениях веществ в сложных условиях, например при высокой температуре, в доменной печи или в агрессивной среде химического реактора, а также изучать процессы обмена веществ в живых организмах. Изотоп кислорода-18 помогает выяснить механизм дыхания живых организмов.

Радиоактивный метод анализа вещества дает возможность определить содержание в нем различных металлов от кальция до цинка, в чрезвычайно малых концентрациях — до 10^{-10} (при этом требуется всего лишь 10^{-12} г вещества). Радиоактивные препараты широко используются в медицинской практике для лечения многих заболеваний, в том числе и злокачественных опухолей. Изотопы плутония-238, кюрия-224 применяются для производства батарей небольшой мощности для стабилизаторов ритма сердца. Для их непрерывной работы в течение 10 лет достаточно всего 150—200 мг плутония (обычные батареи служат до четырех лет).

В результате радиационно-химических реакций из кислорода образуется озон, из газообразных парафинов — водород и сложные соединения низкомолекулярных олефинов. Облучение полиэтилена, поливинилхлорида и других полимеров приводит к повышению их термостойкости и

прочности. Можно привести множество примеров практического применения изотопов и радиоактивного излучения. Несмотря на это, отношение людей к радиации, особенно в последние десятилетия, резко изменилось. За примерно столетнюю историю радиоактивные источники прошли долгий путь от эликсира жизни до символа зла.

От радиоактивной эйфории до радиофобии. После открытия рентгеновских лучей многие верили, что с помощью радиации можно вылечить все болезни и решить все проблемы. В то время люди не хотели видеть опасности радиоактивного облучения. Когда в 1895 г. Вильгельм Рентген (1845—1923) обнаружил новый вид облучения, волна восторга охватила весь цивилизованный мир. Открытие не только поколебало основы классической физики. Оно обещало неограниченные возможности — в медицине его тут же стали применять для диагностики, чуть позже — для лечения самых различных заболеваний. Рентгенодиагностика и рентгенотерапия спасли жизнь многим людям. Врачи, правда, через некоторое время стали ограничивать допустимое число рентгеновских снимков для одного пациента, но никто всерьез не обращал внимания на ожоги, возникающие после рентгена. Французский физик А. Беккерель, например, имел привычку носить в кармане брюк радиевый прибор. Через некоторое время он заметил воспаление на ноге. Чтобы убедиться, что прибор послужил причиной болезни, он переложил его в другой карман. Но даже появившаяся на другой ноге язва не смогла отрезвить ученого, находящегося, как и остальные, в эйфории от нового открытия. Радиоактивное излучение в то время рассматривали как универсальное целительное средство, эликсир жизни. Радий оказался эффективен при лечении доброкачественных опухолей, и «популярность» его резко возросла. В свободной продаже появились радиевые подушки, радиоактивная зубная паста и косметика.

Однако вскоре появились первые тревожные сигналы. В 1911 г. было обнаружено, что берлинские врачи, имеющие дело с радиацией, часто заболевают лейкемией. Позднее немецкий физик Макс фон Лауэ (1879—1960) экспериментально доказал, что радиоактивное излучение неблагоприятно влияет на живые организмы, а в 1925—1927 гг. стало известно, что под воздействием излучения возникают изменения наследственного вещества — мутации.

Между тем полное отрезвление наступило после атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Почти все оставшиеся в живых после ядерного взрыва получили большую дозу облучения и умерли от рака, а их дети унаследовали некоторые генетические нарушения, вызванные радиацией. Впервые об этом стали открыто говорить в 1950 г., когда число больных лейкемией среди пострадавших от атомных взрывов стало ката-

строфически расти. После Чернобыльской аварии недоверие к радиации переросло в настоящую ядерную истерию.

Таким образом, если в начале XX в. люди упорно не хотели видеть вреда от облучения, то в конце его — стали бояться радиации даже тогда, когда она не представляет реальной опасности. Причина обоих явлений одна — человеческое невежество. Можно только надеяться, что в будущем человек научится придерживаться золотой середины и обращаться знания о природных явлениях себе во благо.

6.8. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Плазмохимические процессы. *Плазмохимические процессы* протекают в слабоионизированной, или низкотемпературной, плазме при температуре от 1000 до 10 000 °С. Ионизированные и неионизированные частицы плазмы, находящиеся в возбужденном состоянии, в результате столкновений легко вступают в химическую реакцию. При этом скорость перераспределения химических связей между реагирующими частицами очень высока: длительность элементарных актов химических превращений — не более 10^{-13} с при незначительной обратимости реакции. Поэтому плазмохимические процессы высокопроизводительны. Например, производительность метанового плазмохимического реактора — плазмотрона сравнительно небольших размеров (длиной 65 см и диаметром 15 см) — составляет 75 т ацетилена в сутки. По производительности он не уступает огромному заводу. В нем при температуре 3000—3500 °С за 0,0001 с около 80 % метана превращается в ацетилен. Коэффициент полезного потребления энергии — 90—95 %, а энергозатраты — менее 3 кВт · ч на 1 кг ацетилена. В то же время в традиционном паровом реакторе пиролиза метана энергозатраты вдвое больше.

В последнее время разработан эффективный способ связывания атмосферного азота посредством плазмохимического синтеза оксида азота, который гораздо экономичнее традиционного аммиачного способа. Создана плазмохимическая технология производства мелкодисперсных порошков — основного сырья для порошковой металлургии. Разработаны плазмохимические методы синтеза карбидов, нитридов, карбонитридов таких металлов, как титан, цирконий, ванадий, ниобий и молибден, при сравнительно небольших энергозатратах — 1—2 кВт · ч на 1 кг готовой продукции.

В 70-х годах XX в. созданы плазмохимические сталеплавильные печи, производящие высококачественный металл. Ионно-плазменная обработка рабочей поверхности инструментов позволяет повысить их износостойкость в несколько раз. В результате подобной обработки можно сформировать, например, пористый рельеф на ровной поверхности

(рис. 6.8). Ионно-плазменное напыление в вакууме широко применяется для формирования элементов современных интегральных схем.

Методом плазменного напыления можно нанести пористое покрытие со сложной микроструктурой, способствующее срастанию эндопротеза с костной тканью. С помощью пористых покрытий можно увеличить эффективность катализатора, повысить коэффициент теплоотдачи и т.д.

Плазмохимия позволяет синтезировать металлобетон, в котором в качестве связующих материалов используют сталь, чугун и алюминий. Металлобетон образуется при сплавлении частиц горной породы с металлом и по прочности превосходит обычный бетон: на сжатие — в 10 раз и на растяжение — в 100 раз. В нашей стране разработан плазмохимический способ превращения угля в жидкое топливо без применения высоких давлений и выброса золы и серы. Кроме основного химического продукта — синтез-газа, извлекаемого из органических соединений каменного или бурого угля, этот способ позволяет получить из неорганических включений угля ценные соединения: технический кремний, карбосилиций, ферросилиций, адсорбенты для очистки воды и т.п., — которые при других способах переработки угля выбрасываются в виде зольных отходов.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Для производства многих тугоплавких и керамических материалов применяется технология порошковой металлургии, включающая операции прессования при высоком давлении и спекания полученной заготовки при относительно высокой температуре 1200—2000 °С. Однако эта технология довольно энергоемкая: создание высоких температур и давления требует больших энергозатрат. Гораздо проще и экономичнее предложенная сравнительно недавно технология *самораспространяющегося высокотемпературного синтеза*, основанная на реакции горения одного металла в другом или металла в азоте, углероде, кремнии и т.п., т.е. теплового процесса горения в твердых телах. Он представляет собой, например, горение порошка титана в порошке бора или порошка циркония в порошке кремния. Таким образом получено множество тугоплавких соединений высокого качества:



Рис. 6.8. Подвергнутая ионно-плазменной обработке поверхность монокристалла меди (увеличение в 3000 раз)

- карбиды металлов: TiC, ZrC, HfC, VC, NbC, Ta₂C, TaC;
- бориды: TiB, TiB₂, HfB₂, VB, V₃B₂, NiB;
- силициды: TiSi₃, ZrSi, ZrSi₂, MoSi₂;
- алюминиды: NiAl, CoAl;
- селениды: NbSe₂, MoSe₂, TaSe₂, WSe₂.

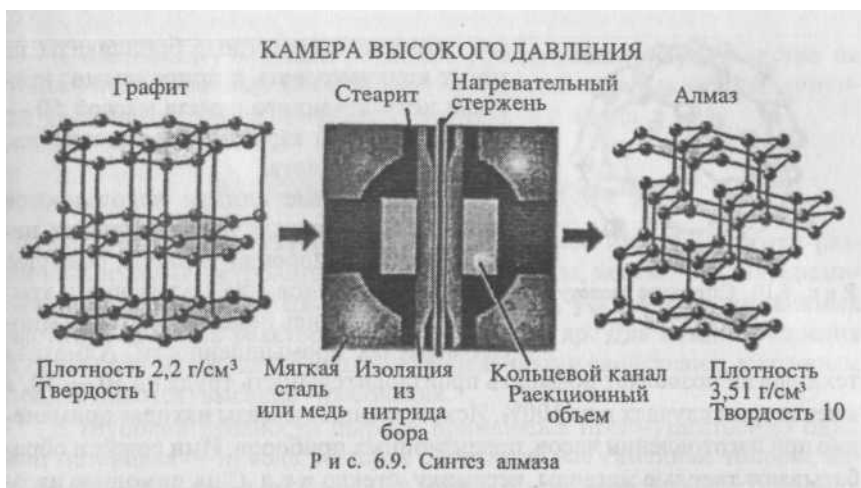
Самораспространяющийся высокотемпературный синтез не требует трудоемких процессов и громоздких печей и отличается высокой технологичностью. Он легко поддается автоматизации. Промышленной установкой, производящей многотоннажную продукцию, может управлять всего лишь один оператор.

Химические реакции при высоких давлениях. Химические превращения веществ при давлениях выше 100 атм относятся к химии высоких давлений, а при давлениях выше 1000 атм — химии сверхвысоких давлений. Идея активизации химических реакций при повышении давления возникла сравнительно давно: еще в 1917 г. аммиак производился при давлении 300 атм и температуре 600 °С. В последнее время во многих промышленных установках давление достигает не менее 5000 атм. Проводятся испытания при давлении выше 600 000 атм, которое создается ударной волной при обычном взрыве. Ядерные взрывы сопровождаются более высоким давлением.

При высоком давлении сближаются и деформируются электронные оболочки атомов, вследствие чего повышается их химическая активность. При давлении 10^2 — 10^3 атм исчезает различие между жидкой и газовой фазами, а при 10^3 — 10^5 атм — между твердой и жидкой. При повышении давления до 10^6 атм образуется металлическая связь. Более высокое давление приводит к образованию неупорядоченного конгломерата электронов и ядер, подобного плазме.

Высокое давление ведет к существенному изменению физических и химических свойств вещества. Например, сталь при давлении 12 000 атм становится ковкой и гибкой, а при 20 000 атм металл эластичен, как каучук. При давлении 400 000 атм диэлектрическая сера приобретает электропроводящие свойства. При высоких температурах и давлениях обычная вода химически активна, и растворимость солей в ней повышается в 3—4 раза. При сверхвысоком давлении многие вещества переходят в металлическое состояние. Таким необычным свойством обладает даже газообразный водород — его металлическое состояние наблюдалось в 1973 г. при давлении 2,8 млн. атм. С применением твердого водорода в качестве ракетного топлива полезный груз космического корабля увеличивается с 10 до 60%.

Синтез алмазов. Одно из важнейших достижений химии сверхвысоких давлений — синтез алмазов. Первые искусственные алмазы синтезированы в 1954 г. (после длительной, пятидесятилетней поисковой рабо-



ты) почти одновременно в США и Швеции. Синтез осуществлялся при давлении 50 000 атм и температуре 2000 °С. Такие алмазы стоили в 30 раз дороже природных, но уже к началу 60-х годов XX в. их стоимость существенно снизилась. В последние десятилетия ежегодно производится тонны синтетических алмазов, по своим свойствам незначительно отличающихся от природных. Различия между синтетическими и природными алмазами можно определить только с помощью точных физических приборов. Доля искусственных алмазов на мировом рынке превышает 75% от объема всей алмазной продукции.

В недалеком прошлом по производству и потреблению алмазов первое место в мире занимал бывший СССР. Более 8000 предприятий в нашей стране пользовались алмазным инструментом, причем производилось более 2500 видов таких инструментов — от крошечных волоочильных устройств до громадных режущих дисков для разрезания крупных каменных блоков.

Промышленный синтез алмазов основан на превращении графита в реакторе высокого давления при наличии различных катализаторов: металлического никеля, сложной смеси железа, никеля и хрома, и др. (рис. 6.9). Кристаллизация алмазов происходит при давлении 50 000 — 60 000 атм и температуре 1400—1600 °С.

Обычно в реакторах высокого давления образуются алмазные кристаллы размером не более 1 мм. Такие мелкие камни вполне пригодны для промышленных целей, но из них трудно изготовить украшения. Сравнительно недавно разработана новая технология, позволяющая выращивать кристаллы алмаза размером до 6 мм. Однако синтез алмазов, которые можно было бы превратить в крупные бриллианты, так сложен и до-



рог, что синтезированные бриллианты не могут конкурировать с природными: кристалл искусственного алмаза массой 50 — 60 г (250 — 300 карат) стоит столько же, сколько 1 т золота.

Искусственные алмазы используются преимущественно для промышленных целей. Алмазные порошки и пасты, режущее и буровое оборудование с алмазными кристаллами оказались незаменимыми во многих отраслях промышленности. Алмазная

технология позволяет повысить производительность труда на 30 — 50, а в некоторых случаях и на 100%. Искусственные алмазы находят применение при изготовлении часов, прецизионных приборов. Ими режут и обрабатывают твердые металлы, керамику, стекло и т.д. С их помощью изготавливают тончайшую проволоку.

Синтезирована особая разновидность черных алмазов, называемая *карбонадо*, которая тверже алмазов, встречающихся в природе. Синтез карбонадо основан на методе порошковой металлургии (прессование алмазного порошка производится при давлении 30 — 80 тыс. атм, а его спекание — при 1000 °С). Карбонадо позволяет обрабатывать сами алмазы, из него изготавливают сверхтвердые буровые коронки.

По своей структуре алмаз отличается от графита более плотной упаковкой атомов углерода в кристалле (см. рис. 6.9). В 1985 г. были синтезированы *фуллерены* — новая разновидность многоатомных молекул углерода, состоящая из большого числа (от 32 до 90) атомов углерода и имеющая сферическую форму (рис. 6.10). Дальнейшие работы привели к созданию не только сферических молекул, но и эллипсоидальных (*барелленов*), трубчатых (*тубеленов*) и других конфигураций. Из таких молекул можно создавать материалы невиданной прочности, элементы компьютеров XXI в., молекулярные сита и т.п.

Несмотря на рост производства искусственных алмазов и их широкое применение, обычные твердые материалы в виде различных карбидов металлов не утратили своей практической значимости. Хотя карбиды металлов менее тверды, чем алмазы, зато они более термостойки. Сравнительно недавно из нитрида бора синтезирован материал, который тверже алмаза. При давлении 100 000 атм и температуре 2000 °С нитрид бора превращается в *боразон* — материал, пригодный для сверления и шлифования деталей из чрезвычайно твердых материалов при очень высоких температурах.

К настоящему времени налажено промышленное производство не только искусственных алмазов, но и других драгоценных камней: корунда (красного рубина и синего сапфира), изумруда и др.

6.9. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Синтетические материалы. Из *материалов* изготавливаются различные изделия: устройства, машины и самолеты, мосты и здания, космические аппараты и микроэлектронные схемы, ускорители заряженных частиц и атомные реакторы, одежда, обувь и др. Для каждого изделия нужны свои материалы с вполне определенными свойствами, к которым предъявляются высокие требования.

В глубокой древности широко применялся преимущественно один вид материала — камень. История донесла до нас каменные топоры, наконечники для стрел, пещеры для жилья. Несколько тысячелетий назад удалось выплавить железо. Появились железные изделия: оружие, предметы быта, несложные приспособления для обработки земли. Сейчас железо уступает другим материалам и прежде всего полимерам. Разнообразная одежда из полиэфира, полиэтиленовая посуда, ковры из полипропилена, мебель из полистирола, шины из полиизопрена и т.п. — все это производится из полимеров. Многие детали современных самолетов изготавливаются из композиционных полимерных материалов. Один из них — *кевлар* — по важному показателю прочность/масса превосходит даже самую высокопрочную сталь.

Пластмассы — это материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные принимать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения. Помимо полимера пластмассы содержат наполнители, стабилизаторы, пигменты и другие компоненты. Пластмассы различаются по эксплуатационным свойствам (например, антифрикционные, атмосферо-, термо- или огнестойкие), виду наполнителя (стеклопластики, графитопласты и др.), а также по типу полимера (аминопласты, белковые пластики и т.п.). В зависимости от характера превращений, происходящих в полимере при формировании изделий, пластмассы подразделяются на термопласты (важнейшие из них создаются на основе полиэтилена, поливинилхлорида, полистирола) и реактопласты (наиболее крупнотоннажный вид из них — фенопласты). Основные методы переработки термопластов — литье под давлением, вакуумформование, пневмоформование и др. Реактопласты формируются прессованием и литьем под давлением.

Прошло более ста лет с момента появления на свет первого органического материала — *целлюлоида*. Сегодня многообразие синтетических веществ настолько велико, что вряд ли возможно их перечислить. Когда

идет речь об искусственных материалах, многие имеют в виду прежде всего пластмассы, вещества, созданные в искусственных условиях. В 1980 г. американские ученые впервые обнаружили природную полиэфирную пластмассу в гнездах пчел, живущих в земле.

Массовое производство пластмасс началось во второй половине XX в. В 1900 г. мировое производство пластмасс составило около 20 тыс. т, а в 1970 г. — уже 38 млн. т. В настоящее время объем производства пластмасс сравним с объемом выпуска стали — сотни миллионов тонн в год. Около 2/3 объема мирового производства полимерных материалов составляют полиэтилен, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, полиэфирные смолы, полиуретан, аминопласты, фенопласты, поликрилаты, полиформальдегид, поликарбонаты, фторполимеры, силиконы, полиамиды, эпоксидные смолы.

Наиболее перспективны материалы с высокой термостойкостью: полифениленсульфид, ароматические полиамиды, фторполимеры и др. Они выдерживают относительно высокую температуру — 200—450°C и используются в авиационной и ракетной технике.

Полимерные материалы широко применяются в строительной индустрии для изготовления рам, облицовочных плит, кровли и т.д. За более чем столетнюю историю развития автомобилестроения пластмассы постепенно вытесняют металл. Предполагается, что в ближайшем десятилетии на изготовление одного легкового автомобиля потребуется сотни килограммов пластмасс: полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена и др., тогда как в 1965 г. на один легковой автомобиль приходилось лишь 15 кг полимерных материалов. Уже производят легковые автомобили с полностью пластмассовым кузовом и со многими другими деталями, даже с теми, которые несут высокую механическую нагрузку.

Эластомеры — еще одна разновидность полимерных материалов. К ним относится прежде всего каучук, из которого производится широко распространенная резина, обладающая отличительным свойством — эластичностью. Такое свойство объединяет многие эластичные материалы в одну группу эластомеров. Долгое время был известен только один вид эластичного материала — природный каучук. Он до сих пор добывается из каучукового дерева — бразильской гевеи — таким же способом, как и смола в хвойных лесах, — путем подсечки.

Химия завладела каучуком еще в первой половине XIX в. — в 1841 г. американский изобретатель Гудьир предложил способ вулканизации. Хрупкий при низкой температуре и липкий при нагревании сырой каучук при вулканизации переходит в эластичное состояние. При этом его макромолекулярные цепи образуют сетчатую структуру, соединяясь мостиками из атомов серы. В 1932 г. под руководством нашего соотечественника, выдающегося химика академика С.В. Лебедева (1874 — 1934) разра-

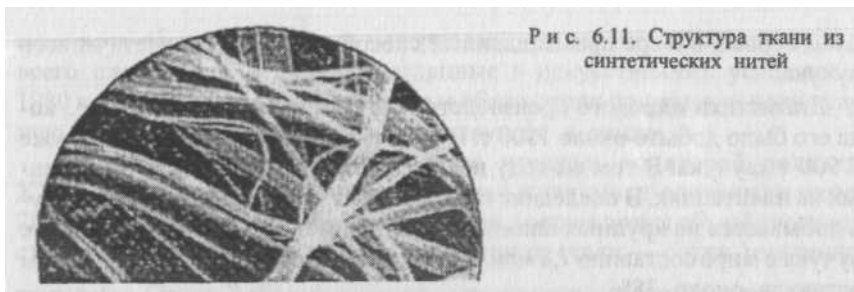
ботан первый в мире промышленный способ получения синтетического каучука.

Статистика мирового производства каучука начинается с 1850 г., когда его было добыто около 1500 т. В 1900 г. бразильские леса давали уже 53 900 т каучука. В том же году появился каучук из деревьев, выращенных на плантациях. В последние годы большая часть натурального каучука добывается на крупных плантациях Индокитая. В 1970 г. потребление каучука в мире составило 7,8 млн. т, доля натурального каучука в котором составила около 38%.

Натуральный каучук имеет сравнительно невысокие термостойкость и маслостойкость, подвержен старению. Современные технологии позволяют получить синтетический каучук с лучшими свойствами. К настоящему времени разработано более 10 видов синтетических каучуков и не менее 500 их различных модификаций. Превосходным качеством отличается *силиконовый каучук*. Он менее эластичен, чем натуральный, но его свойства в интервале температур от - 55 до 180 °С мало зависят от температуры, к тому же он физиологически безвреден. Гомогенные и ячеистые полиуретановые эластомеры обладают высокой износостойкостью, химической стойкостью и не подвергаются быстрому старению. Сфера применения эластомеров весьма разнообразна — от машиностроения до обувной промышленности, но все же значительная их доля идет на изготовление шин, потребность в которых с ростом потока автомобилей постоянно возрастает.

Производя синтетические каучуки, химическая промышленность восполняет дефицит природного сырья — каучука. Точно так же производство синтетической кожи сохраняет сырье животного происхождения. По своим свойствам и качеству многие разновидности современной синтетической кожи мало отличаются от натуральной кожи высшего качества.

Синтетические ткани появились во второй половине XX в., хотя внедрение химических технологий в текстильную промышленность началось сравнительно давно — около 200 лет назад, когда с помощью соды и хлорной извести удалось существенно улучшить качество стирки и отбеливания. Например, с применением хлорной извести продолжительность отбеливания хлопковой ткани сократилась с трех месяцев (при луговой отбелке) до шести часов. Во второй половине XIX в. широко внедрялись синтетические органические красители тканей. С начала XX в. химические технологии стали ориентироваться на создание новых волокнистых материалов. Первое чисто синтетическое волокно — *нейлон* — создано более 60 лет назад, а затем появились акрил, полиамид, полиэфирные волокна. Однако потребители сравнительно быстро оценили как достоинства, так и недостатки синтетических тканей. Немало време-



Р и с. 6.11. Структура ткани из синтетических нитей

ни прошло, прежде чем удалось понять и преодолеть различия между природными и синтетическими волокнами. Теперь химия легко воспроизводит лучшие свойства льна, хлопка, шерсти, а естественные материалы давно уже стали предметом многократной химической обработки, придающей, например, хлопку упругость или делающей льняную ткань не столь мнущейся.

Новшества сегодняшнего дня затронули и геометрию волокон. Изготовители текстильного сырья стремятся сделать нить возможно тоньше. Тончайшие синтетические нити ткани хорошо видны под микроскопом (рис. 6.11).

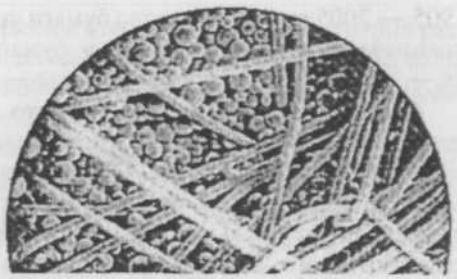
Излюбленный материал сегодняшних модельеров — эластик — удобен не только в спортивной одежде, но и в повседневных костюмах. Существует ткань, в основе которой размещены мельчайшие стеклянные шарики, отражающие свет. Одежда из нее — хорошая защита для тех, кто ночью находится на улице, например для регулировщиков автотранспортного движения.

Одна из разновидностей синтетического материала — *кевлар*. Он в пять раз прочнее на разрыв, чем сталь, и используется для пошива пуленепробиваемых курток. Весьма оригинальна технология изготовления ткани для одежды космонавта, которая способна уберечь его за пределами атмосферы от ледящего холода космоса и палящей жары Солнца. Секрет такой одежды — в миллионах микроскопических капсул, встроенных в ткань (рис. 6.12). Капсулы содержат парафины. При нагревании они плавятся, отбирая тепло, а при охлаждении затвердевают, выделяя тепло.

Производство многообразных синтетических материалов с удивительными свойствами свидетельствует о чрезвычайно высоком уровне современных химических технологий.

Традиционные материалы с новыми свойствами. К традиционным материалам относится *древесина*. Из нее вырабатывается целлюлоза — один из основных видов сырья для производства бумаги и синтетических материалов. Древесина, кроме того, широко применяется в строительстве и для изготовления мебели.

Р и с. 6.12. Синтетическая ткань с микрокапсулами



В отличие от ископаемого горючего сырья древесина сравнительно быстро восстанавливается. В этой связи и с учетом того, что цены на ископаемое органическое сырье постоянно растут, следует ожидать, что основная доля производства пластмасс, эластомеров и синтетических волокон будет базироваться на переработке древесины в промежуточное химическое сырье — этилен, бутadiен и фенол. А это означает, что древесина станет важным сырьем для получения разнообразной химической продукции: фурфурола, фенола, текстиля, топлива, сахара, белков, витаминов и т.д. Например, из 100 кг древесины можно изготовить примерно 20 л спирта, 22 кг кормовых дрожжей или 12 кг этилена. Древесина — не единственный вид органического сырья. Другие разновидности биомассы — солому, камыш и т.п. — можно превратить в те же ценные продукты, которые производятся из древесины. Микробиологи обнаружили, что грибы, вызывающие белую гниль древесины, могут приносить пользу. Их способность видоизменять некоторые компоненты древесины положена в основу новой технологии изготовления стройматериалов: после обработки грибом опилки, стружки и другие отходы склеивают в монолитную массу.

Одна из важнейших областей применения древесины — целлюлозно-бумажная промышленность. В последнее время наметились изменения в технологии производства бумаги, связанные с внедрением заменителя бумаги — синтетического материала. Введение полимеров в волокнистую массу повышает прочность, эластичность бумаги, ее устойчивость к деформации и т. д. При этом повышается качество многоцветной печати, что особенно важно при печатании географических карт, репродукций картин и т.п.

С развитием компьютерной техники бумага перестает быть основным носителем информации. Однако возрастание объемов печатной продукции (книг, газет, журналов и т.п.) и рост производства промышленной продукции, нуждающейся в упаковочных материалах, неизбежно приводит к ежегодному приросту производства бумаги примерно на 5%. За последнее десятилетие, например, в Великобритании потребление бумаги возросло на 65%. Предполагается, что в этой стране за период

1905 — 2005 гг. производство бумаги увеличится в два раза. Этот пример показывает, что потребность в бумаге и, следовательно, в древесине — важнейшем природном сырье — постоянно возрастает.

Стекло, как и древесину, принято считать традиционным материалом. Еще в V тысячелетии до н.э. в Древнем Египте выплавлялись первые стеклоподобные вещества. Стеклянная посуда изготавливалась еще в XV в. до н.э. Вместе с тем стекло долгое время не находило широкого применения, поскольку ни броню, ни каску, ни даже ручную дубинку из столь хрупкого материала изготовить нельзя.

Систематические исследования свойств стекла начались в 20 — 30-е годы XX в., хотя с древних времен выплавлялись стекла более 800 различных составов, а из них производилось около 43 тыс. разнообразных изделий. Как и прежде, стекло обладает одним существенным недостатком — хрупкостью. Создать стекло нехрупким — одна из труднейших задач даже с учетом возможностей современных технологий. Тем не менее во второй половине XX в. удалось синтезировать стеклокерамический материал *ситалл*, прозрачный или похожий на фарфор. Он выдерживает высокотемпературный перепад — до 1000°C. Его можно обрабатывать как обычный металл: обтачивать, фрезеровать и т.п. Благодаря совокупности свойств — высокая прочность, твердость, химическая и термическая стойкость, низкий температурный коэффициент расширения — ситаллы применяются в автомобилестроении, электротехнике, химическом машиностроении и т.п.

Обычное стекло имеет прочность на изгиб около 50 Н/мм², а термически закаленное стекло — примерно 140 Н/мм². При дополнительной химической обработке этот показатель увеличивается до 700 — 2000 Н/мм². Высокой прочностью обладают композиционные материалы, включающие химически обработанные стекла со слоями пластика и способные заменить металл. Многослойное бронестекло толщиной 20—40 мм не пробивается пулей при выстреле из пистолета.

Иногда для облицовки зданий и для окон используются цветные стекла. Они поглощают инфракрасное излучение, благодаря чему поддерживается нормальный микроклимат в помещении: летом задерживаются лучи палящего солнца, а зимой сохраняется тепло. Широко применяются стекловолоконные материалы для армирования, отделки, изоляции, фильтрации и т.п. Оптическое стекловолокно — весьма перспективное средство для передачи большого объема информации. Хорошо известны изоляционные свойства стекла. В последнее время удалось синтезировать и полупроводниковые стекла. Низкоплавкая эмаль из стекла (570 °C) — надежное покрытие для алюминия, обладающее высокой коррозионной стойкостью, эластичностью и ударопрочностью. Эмали можно придать различные цвета.

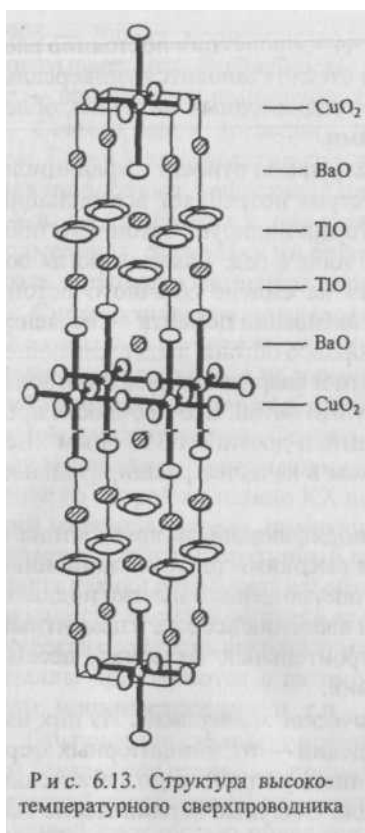
Область применения разнообразной стеклопродукции постоянно расширяется, а это означает, что уже сегодня стекло становится универсальным материалом. Современное стекло — традиционный материал, обладающий новыми необычными свойствами.

Силикатные и керамические материалы также относят к традиционным. Развивающаяся строительная индустрия потребляет все больший объем силикатных материалов, среди которых лидирует бетон. Его производство в мире составляет миллиарды тонн в год. Самая дорогая составляющая бетона — цемент. Прочность на сжатие обычного бетона равна 5 — 60 Н/мм², а после термической активации цемента — не менее 100 Н/мм². Освоено производство огнеупорного бетона, выдерживающего температуру до 1800 °С. Из смеси извести и кварцевого песка или золы угольных фильтров производится силикатный бетон. Его прочность превышает прочность бетона на основе цемента и достигает 350 Н/мм². Бетон с внедренным алюминиевым порошком в качестве расширительной добавки легок и поддается обработке.

Налажено производство различных модификаций легкого бетона с внедренными полимерами. Он отличается высокими теплоизоляционными свойствами и прочностью, малым влагопоглощением и легко поддается обработке различными способами. При введении асбеста в цементный раствор получается асбестоцемент — строительный материал, весьма стойкий к изменениям погодных условий.

Широкое применение находят *керамические материалы*. Из них изготавливают более 60 тыс. различных изделий — от миниатюрных ферритовых сердечников для микроэлектронных устройств до гигантских изоляторов для высоковольтных установок. Обычные керамические материалы (фарфор, фаянс, каменная керамика) получают при высокой температуре из смеси каолина (глины), кварца и полевого шпата. Из керамики производят строительные блоки, пористый и пустотелый кирпич, закаленный кирпич (например, для дымовых труб) и т.п. К керамике относятся и бессиликатные композиционные материалы из различных оксидов, карбидов, силицидов, боридов и нитридов. Для них характерны высокие термическая и коррозионная стойкость и прочность; разрушаются они при температуре около 1600 °С. Высокопрочные керамические материалы выдерживают температуру выше 1200 °С. В тиглях из такого материала можно плавить медь, алюминий и т.д.

Металлокерамические композиционные материалы с высокими твердостью и термостойкостью служат для изготовления камер сгорания для космических ракет, деталей для металлорежущих инструментов и т.п. Такие материалы производятся методом порошковой металлургии из металлов (железа, хрома, ванадия, молибдена и др.) и оксидов металлов (преимущественно Al_2O_3), карбидов, боридов, нитридов или силицидов.



В металлокерамике сочетаются свойства керамики и металлов. В начале 90-х годов XX в. синтезирован керамический ртутьсодержащий металлооксидный материал, обладающий удивительным свойством — высокотемпературной сверхпроводимостью (рис. 6.13). При температуре около 170 К он переходит в сверхпроводящее состояние.

Вне всякого сомнения, в результате исследования структуры и свойств новых керамических материалов будут найдены способы синтеза композитов с ранее неизвестными свойствами.

Средства сохранения материалов позволяют увеличивать срок их службы. Важно не только произвести высококачественный материал, но и сохранить его. Воздействие окружающей среды ухудшает качество материала: происходит его преждевременное старение, разрушение. К существенному разрушению металлов, особенно нецветных, приводит их коррозия. При длительном воздействии влаги древесины подвергается гниению и т.д. Поэтому для сохранения свойств материа-

лов и изделий из них применяются различные средства защиты. Например, слой краски защищает металлические изделия от коррозии, а изделия из древесины от гниения.

По некоторым оценкам, ежегодные потери железа в результате коррозии составляют почти 15% объема мировой продукции стали, а это означает, что примерно каждая седьмая домна на земном шаре работает впустую, загрязняя окружающую среду. Самая распространенная мера защиты от коррозии — окраска, т.е. нанесение защитного слоя масляной или синтетической краски. Широко применяются краски на основе различных полимеров. Обычное покрытие кажется эффективным, когда краска наносится на чистую поверхность. Однако процесс очистки поверхности — трудоемкая операция, поэтому ведется поиск защитных материалов для нанесения на поврежденную коррозией поверхность без предварительной ее очистки. Один из видов таких материалов уже синтезирован в виде краски, содержащей цианамид цинка, при реагировании которого с

ржавчиной образуется цианамид железа, надежно защищающий поверхность от коррозии.

Антикоррозийными свойствами обладают нержавеющие стали, содержащие такие дорогостоящие металлы, как хром или никель. Гораздо дешевле обходится напыление на обычную сталь слоя алюминия или хрома небольшой толщины. Один из перспективных способов защиты от коррозии — формирование слоя своеобразной ржавчины, предохраняющего металл от дальнейшего разрушения. Обычная ржавчина, состоящая из рыхлого слоя оксида железа, способствует дальнейшему разрушению материала. Защитный слой ржавчины образуется на поверхности деталей из стали, содержащей, например, 0,7 — 0,15% фосфора, 0,25 — 0,55% меди, 0,5 — 1,25% хрома и 0,65% никеля. Разработаны десятки разновидностей подобных сталей, обладающих удивительным свойством самозащиты. Их можно формовать и сваривать, а стоят они всего на 10 — 30% дороже обычных сталей. Из них изготавливаются вагоны, цистерны, трубопроводы, строительные конструкции и т.д. Если средства сохранения материалов оказываются не эффективными, их заменяют.

Замена материалов производится в двух случаях: когда возникает дефицит старого материала и когда новый материал более эффективен. Материал-заменитель должен обладать лучшими свойствами. Например, к материалам-заменителям можно отнести пластмассы, хотя считать их определенно новыми материалами вряд ли возможно. Пластмассы могут заменить металл, дерево, кожу и другие материалы. Более 1/3 мирового потребления пластмасс приходится на промышленность. Тем не менее, по некоторым оценкам, только 8—15% стали заменяется пластмассами (преимущественно при изготовлении трубопроводов), бетоном и другими материалами. Сталь обладает вполне приемлемыми стоимостью и прочностью, что и сдерживает быстрое и массовое ее вытеснение пластмассами и другими материалами. Не менее сложна проблема замены цветных металлов. Во многих случаях идут по пути экономного, рационального их потребления.

Преимущества пластмасс вполне очевидны: 1 т пластмасс в машиностроении экономит 5 — 6 т металлов. На изготовление пластмассовых изделий требуется всего 12 — 33% рабочего времени, необходимого для изготовления тех же изделий из металла. В производстве, например, пластмассовых винтов, зубчатых колес и т.п., сокращается число операций обработки и повышается производительность труда на 300 — 1000%. При обработке металлических изделий материал используется на 70%, а при изготовлении изделий из пластмасс — на 90 — 95%.

Замена другого широко применяемого материала — древесины — началась еще в первой половине XX в. Прежде всего появилась фанера, а позднее — древесноволокнистые и древесностружечные плиты. В

последние десятилетия древесина стала вытесняться алюминием и пластмассами, особенно в производстве игрушек, предметов быта, лодок, строительных конструкций и т.п. В то же время наблюдается тенденция увеличения потребительского спроса на товары, изготовленные из древесины.

В дальнейшем пластмассы заменят композиционные материалы, разработке которых уделяется большое внимание.

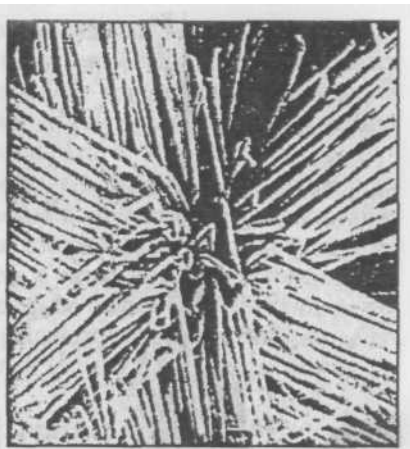
6.10. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сверхпрочные материалы. Ассортимент материалов различного назначения постоянно расширяется. В последние десятилетия создана естественно-научная база для разработки принципиально новых материалов с уникальными свойствами. В разработке сверхпрочных материалов достигнуты определенные успехи. Например, сталь, содержащая 18% никеля, 8% кобальта и 3 — 5% молибдена, отличается высокой прочностью — отношение прочности к плотности для нее в несколько раз больше, чем для некоторых алюминиевых и титановых сплавов. Преимущественная область ее применения — авиационная и ракетная техника. Коррозионностойкий сплав (62 — 74% кобальта, 20 — 30% хрома, 6 — 8% алюминия) не разрушается в атмосфере кислорода при температуре вплоть до 1050 °С, а при более высокой температуре даже агрессивная серноокислая среда не оказывает на него заметного воздействия.

Продолжается поиск новых высокопрочных термостойких алюминиевых сплавов для смены дорогостоящих титановых сплавов. Развивается порошковая металлургия: прессование металлических и других порошков — один из перспективных способов повышения прочности и улучшения качества прессуемых материалов.

Большое внимание уделяется разработке композиционных материалов (композитов) — материалов, состоящих из компонентов с различными свойствами. В таких материалах содержится основа с распределенными усиливающими элементами: волокнами и частицами из стекла, металла, дерева, пластмассы и др. Большое число возможных комбинаций компонентов позволяет получить разнообразные композиционные материалы. Способ изготовления композитов известен давно. Еще в 600 г. до н.э. в Вавилоне была построена башня высотой 90 м из глиняных блоков в которых глина была смешана с козьей шерстью. Подобный способ лежит в основе изготовления современных древесных плит, железобетона и других материалов. При оптимальном комбинировании веществ с разными свойствами существенно повышаются прочность и качество композитов.

Целенаправленное исследование свойств композитов началось в 60-е годы XX в., когда новые волокнистые неорганические материалы из бора, карбида кремния, графита, оксида алюминия и т.п. стали сочетать с органическими или металлическими. Некоторые волокнистые материалы имеют структуру нитевидных кристаллов, одна из разновидностей которых показана на рис. 6.14. Композиционные материалы с волокнистой структурой обладают удивительной прочностью. Например, с помощью каната толщиной 3 см из борсодержащих волокон можно буксировать полностью нагруженный четырехмоторный реактивный самолет.



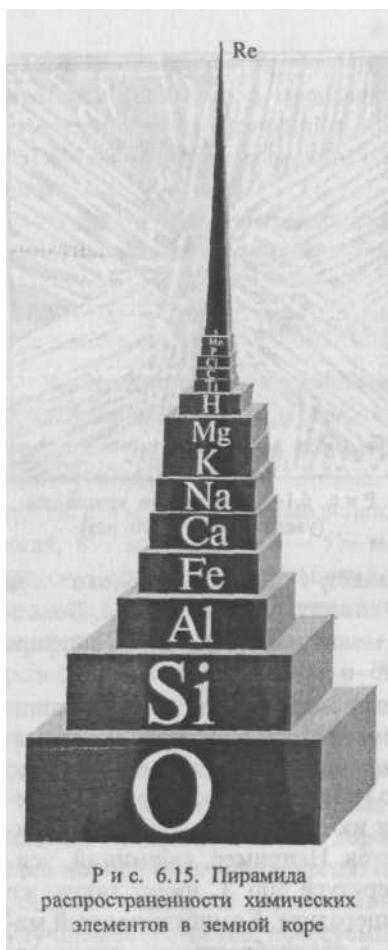
Р и с. 6.14. Нитевидные кристаллы
(увеличение в 3000 раз)

Графитовые волокна при 1500 °С прочнее стальных волокон при комнатной температуре. Волокнистые материалы из бора, графита и монокристаллического сапфира (Al_2O_3) используются преимущественно в космической технике.

При комбинировании поли- и монокристаллических нитей с полимерными матрицами (полиэфирами, фенольными и эпоксидными смолами) получают материалы, которые по прочности не уступают стали, но легче ее в 4 — 5 раз. Благодаря введению металлических матриц из никеля, кобальта, железа, алюминия, хрома и их сплавов повышаются прочность, эластичность и вязкость композитов. Например, алюминий, усиленный боридным волокном, при температуре 500 °С имеет такую же прочность, как сталь при комнатной температуре. Композиционный материал из монокристаллических нитей с разнообразными матрицами имеет предел прочности на разрыв более 700 Н/мм².

Материал будущего должен быть не только сверхпрочным, но и стойким при длительном воздействии агрессивной среды.

Материалы, содержащие редкие металлы. Названия «редкие металлы», «редкие элементы», «редкоземельные элементы» не совсем удачны — их содержание в земной коре в среднем сопоставимо или даже выше, чем содержание большинства широко используемых металлов. Например, таких редких металлов, как скандий, церий, лантан, литий, иттрий, ниобий, галлий, в земной коре содержится примерно столько же, сколько хрома, цинка, никеля, меди и свинца, а стронция, циркония, рубидия — гораздо больше. Редкие металлы находятся на вершине пирамиды распространенности химических элементов в поверхностном слое зем-



ной коры (рис. 6.15). Долгое время не находившие широкого применения, они сегодня оказались на острие передовых технологий производства современных перспективных материалов. С их применением связаны новые области промышленности, науки и техники: гелиоэнергетика, инфракрасная оптика, оптоэлектроника, лазеры, компьютеры и т. п.

Приведем примеры практического применения материалов, содержащих редкие металлы. Низколегированные стали, в состав которых входит всего 0,03 — 0,07 % ниобия и 0,01 — 0,1 % ванадия, позволяют на 30 — 40 % снизить массу металлических конструкций мостов и многоэтажных зданий, газо- и нефтепроводов, бурильного оборудования и т.п. При этом срок службы конструкций увеличивается в 2 — 3 раза. Сверхпроводящие материалы на основе ниобия используются в поездах на воздушной подушке, развивающих скорость 577 км/ч. В современном легковом автомобиле многие детали выполнены из стали с ниобием и ванадием, медно-берилловых сплавов и сплавов с цирконием и иттрием, что позволило уменьшить массу автомобиля примерно в 1,5 раза. Разраба-

тываются электромобили с литиевыми аккумуляторами, на водородном топливе с нитридом лантана и др. Производятся топливные элементы на основе оксидов циркония и иттрия, с КПД до 65%. С применением осветительных ламп с люминофорами, содержащими иттрий, европий, тербий, церий, расход электроэнергии на освещение снижается в 2 — 3 раза.

Арсенид галлия используется в производстве фотоэлементов, интегральных схем и т.п. Применение редкоземельных материалов при крекинге нефти позволяет снизить потребление дорогостоящей платины и увеличить на 15% выход высокооктанового бензина. Иттрий способен резко увеличить электропроводность алюминиевого провода и прочность новых керамических конструкционных материалов. Совсем недавно об-

наружилось необычное свойство редкоземельных металлов — при их внесении в почву на 5 — 10% повышается урожай сельскохозяйственных культур: риса, пшеницы, кукурузы, сахарного тростника, хлопка, фруктов и др. Потребление редких металлов быстро растет. Например, в Японии за период 1960—1985 гг. оно возросло в 10 — 25 раз.

Результаты исследований показывают, что ископаемое углеводородное сырье содержит промышленно ценные количества иттрия, лантанидов, ванадия и других редких металлов, стоимость которых соизмерима со стоимостью самого сырья. Например, в татарской нефти содержится до 700 г/т ванадия, который является ценным, но и весьма токсичным веществом. При извлечении его из нефти решаются одновременно две задачи: добывается нужный для многих целей металл и предотвращается загрязнение окружающей среды.

Некоторые специалисты убеждены: редкие металлы — будущее новой техники. На пороге тысячелетий современная цивилизация переходит из железного века в новый — век легких и надежных материалов, содержащих редкие металлы.

Термостойкие материалы. Повышение скорости химических процессов и эффективности работы многих аппаратов, двигателей и т.п. достигается при высокой температуре, поэтому создание термостойких материалов — одна из важнейших задач развития современных химических технологий и машиностроения.

К настоящему времени разработаны перспективные способы изготовления термостойких материалов: имплантация ионов, плазменный синтез, плавление и кристаллизация в отсутствие гравитации, напыление на поликристаллические и аморфные поверхности и др. Для изменения локальных химических и физических свойств материалов применяется лазерная технология. Сфокусированный луч мощного импульсного лазера способен кратковременно (в течение 100 нс) создавать чрезвычайно высокую локальную температуру — вплоть до 10 000 К. В точке фокусировки лазерного луча изменяются физические и химические свойства поверхностного слоя.

С применением современных технологий получены, например, нитрид кремния Si_3N_4 и силицид вольфрама WSi_2 — термостойкие материалы для микроэлектроники. Нитрид кремния обладает превосходными электроизолирующими свойствами даже при небольшой толщине слоя — менее 0,2 мкм. Силицид вольфрама отличается весьма малым электрическим сопротивлением. Из этих материалов напыляются тонкопленочные элементы интегральных схем.

Представляет практический интерес способ синтеза новых керамических материалов для изготовления, например, цельнокерамического блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Этот способ заключается в от-

ливке кремнийсодержащего полимера в форму с последующим превращением его в термостойкий и прочный карбид или нитрид кремния. Современные графитоволокнистые материалы способны выдерживать температуру до 2000 °С. Конечно, это не предел. Новые технологии позволяют синтезировать более термостойкие материалы.

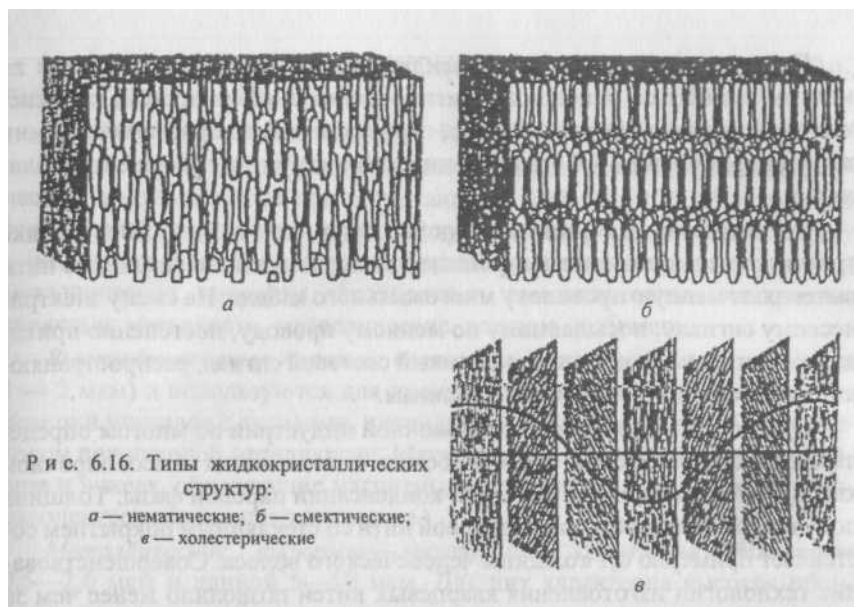
Нитинол. Нитинол представляет собой никель-титановый сплав (55% Ti, 45% Ni), обладающий необычным свойством — сохранять первоначальную форму. Поэтому иногда его называют запоминающим металлом. Такое свойство нитинола сохраняется даже после его холодного формования и термической обработки. Для него характерны сверх- и термоупругость, высокая коррозионная и эрозионная стойкость.

Вначале нитиноловые изделия служили преимущественно для военных целей — с их помощью в боевых самолетах соединяли различные трубопроводы, доступ к которым ограничен. Соединение производилось муфтой, свободно надевавшейся на концы соединяемых труб. После пропускания электрического тока муфту нагревали примерно на 30 °С, после чего она, охлаждаясь, принимала первоначальную форму с меньшим диаметром, плотно прилегая к концам труб. Уникальную конструкцию с помощью нитиноловых муфт удалось собрать в космосе при корректировке орбиты станции «Мир».

Нитиноловые фиксаторы, муфты, спирали находят применение в медицине. С помощью нитиноловых фиксаторов эффективнее соединяются сломанные кости. Благодаря памяти формы нитиноловая муфта лучше фиксируется в десне, предохраняя места сочленений от перегрузок. Нитинол, обладая способностью упруго деформироваться на 8—10%, плавно воспринимает нагрузку, подобно живому зубу, и в результате меньше травмирует десну. Нитиноловая спираль способна восстановить сечение пораженного той или иной болезнью сосуда в организме человека. При внедрении нитиноловых деталей происходит более эффективное заживление ран — ведь помимо замечательных механических свойств нитинол еще и биологически инертен.

Вне всякого сомнения, нитинол найдет более широкое применение: при ремонте газо-, нефте- и газопроводов, а также при решении других задач.

Жидкие кристаллы. Жидкие кристаллы — это жидкости, обладающие, как и кристаллы, анизотропией свойств (в частности, оптических), связанной с упорядоченной ориентацией молекул. Благодаря сильной зависимости свойств жидких кристаллов от внешних воздействий они находят разнообразное применение в технике (в температурных датчиках, индикаторных устройствах, модуляторах света и т. д.).



Жидкокристаллическое вещество состоит из органических молекул с преимущественно упорядоченной ориентацией в одном или двух направлениях. Оно обладает текучестью, как жидкость. Кристаллическая упорядоченность молекул жидких кристаллов подтверждается их оптическими свойствами. Различают три основных типа жидких кристаллов: нематические, смектические и холестерические (рис. 6.16). Наименьшую упорядоченность имеют нематические жидкие кристаллы. Молекулы их параллельны, но сдвинуты вдоль своих осей одна относительно другой на произвольные расстояния, т.е. длинные, узкие и в то же время весьма жесткие молекулы выстраиваются подобно сплавляемым по реке бревнам (см. рис. 6.16, а). Более сложная форма молекул — в виде плоскостей, из которых образуется многослойная относительно упорядоченная структура, наблюдается в жидких смектических кристаллах (см. рис. 6.16, б). По структуре жидкие холестерические кристаллы похожи на нематические, но отличаются от них закручиванием молекул в направлении, перпендикулярном их длинным осям (см. рис. 6.16, в). Шаг такой спиральной структуры сравнительно большой — несколько микрон.

Под действием даже очень слабого электрического поля нарушается равновесие ориентированных молекул, при этом изменяются оптические свойства жидкокристаллического вещества: например, из прозрачного оно переходит в светонепроницаемое.

Прогресс в создании новых жидкокристаллических материалов во многом зависит от успешного синтеза молекул сферической, стержне- или дискообразной формы. Одно из перспективных направлений в химии жидких кристаллов — формирование таких структур при синтезе полимеров.

Оптические материалы. Подобно тому, как в микроэлектронике транзисторы вытеснили электронные лампы, тончайшие кварцевые нити вытесняют медную проволоку многожильного кабеля. На смену электрическому сигналу, посылаемому по медному проводу, постепенно приходит значительно более информативный световой сигнал, распространяющийся по светопроводящим волокнам.

Прогресс в развитии световолоконной индустрии во многом определился технологической возможностью изготовления высокопрочной кварцевой нити путем химической конденсации паровой фазы. Толщина полученной таким образом кварцевой нити со стеклянным покрытием составляет примерно 0,1 толщины человеческого волоса. Совершенствование технологии изготовления кварцевых нитей позволило менее чем за десятилетний срок примерно в 100 раз сократить потери светового потока. Из новых оптических материалов, например, таких, как фторидные стекла, можно получить еще более прозрачные волокна. Волоконная оптика открывает чрезвычайно большие возможности для передачи огромного объема информации на большие расстояния. Уже сегодня многие телефонные станции, телевидение с успехом пользуются волоконно-оптической связью.

Современная химическая технология сыграла важную роль и при создании материалов для оптических устройств переключения, усиления и хранения оптических сигналов. Оптические устройства оперируют в новых временных масштабах обработки световых сигналов. Например, оптический переключатель срабатывает за одну миллионную миллионной доли секунды. В современных оптических устройствах используются ниобат лития и арсенид галлия-алюминия. Органические стереоизомеры, жидкие кристаллы и полиацетилены обладают лучшими оптическими свойствами, чем ниобат лития, и являются весьма перспективными материалами для новых оптических устройств.

Материалы диссоциации металлоорганических соединений. При термической диссоциации ряда металлоорганических соединений получают чистые металлы различной твердой формы, обладающие уникальными свойствами. К металлоорганическим соединениям относятся:

— карбонилы: $W(CO)_6$, $Mo(CO)_6$, $Fe(CO)_5$, $Ni(CO)_4$;

— ацетилацетонаты металлов: $\text{Cu}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$, $\text{Pd}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$, $\text{Pt}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$, $\text{Ru}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$;

— дикарбонилацетонат родия: $\text{Rh}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2(\text{CO})_2$ и др.

Этим соединениям в газообразном состоянии присуща высокая летучесть. Они разлагаются при нагревании до 100—150 °С. В результате термической диссоциации можно получить чистую металлическую фазу в различных конденсированных формах: высокодисперсные порошки, металлические вискерсы, беспористые тонкопленочные материалы, ячеистые металлоны, металлические волокна и бумага.

Высокодисперсные порошки состоят из частиц малых размеров (до 1—3 мкм) и используются для производства металлокерамики — композиций металлов с оксидами, нитридами, боридами, синтезируемых методом порошковой металлургии. Металлические порошки, например железа и никеля, обладающие магнитными свойствами, применяются в радиоэлектронике и электротехнике.

Металлические вискерсы — нитевидные кристаллы диаметром 0,5—2,0 мкм и длиной 5—50 мкм. Для них характерна высокая прочность, примерно в 10 раз превышающая прочность самых высококачественных сталей, высокая устойчивость к окислению и необычные магнитные свойства. Подобные кристаллы формируются на активных центрах подложки, где в парамагнитных кластерах образуется своеобразная ступенчатая монокристаллическая структура. Металлические вискерсы представляют практический интерес для синтеза новых композиционных материалов с металлической или пластмассовой матрицей.

Беспористые тонкопленочные материалы отличаются высокой плотностью упаковки атомов. По величине отражения света они приближаются к серебру. Беспористое тонкопленочное покрытие толщиной около 90 мкм надежно защищает металл от коррозии даже в самой агрессивной среде. Их коррозионная стойкость примерно в 5 раз выше, чем, например, гальванических покрытий.

Ячеистые металлы образуются при осаждении металла в результате проникновения паров металлоорганических соединений в поры другого материала, где формируется ячеистая металлическая структура.

Металлизированные волокна и бумага обладают уникальными механическими, теплофизическими и электропроводными свойствами. В будущем они найдут широкое применение.

Тонкопленочные материалы для накопителей информации. Любая современная вычислительная машина, в том числе и персональный компьютер, содержит накопитель информации — запоминающее устройство, способное накапливать и хранить большой объем информации.

Большинство накопителей информации базируется на магнитной записи. В накопителях информации на подвижном магнитном носителе, где основное — это накопление информации, важным параметром является поверхностная информационная плотность записи, определяемая количеством информации, приходящейся на единицу площади поверхности рабочего слоя носителя информации.

Изготовление современных магнитных накопителей большой емкости основано на применении тонкопленочных материалов. Благодаря применению новых магнитных материалов и в результате совершенствования технологии изготовления всех тонкопленочных элементов магнитного накопителя за относительно короткий срок поверхностная плотность записи информации увеличилась в пять раз: в 1998 г. она составляла примерно 12 Гбит/дюйм², а в 2000 г. — около 100 Гбит/дюйм².

Запись с высокой поверхностной плотностью осуществляется на носитель, рабочий слой которого формируется из тонкопленочного кобальтсодержащего материала, например сплава CoPtCr с уникальной магнитной структурой. Высокую плотность записи можно реализовать только с помощью преобразователей, тонкопленочный материал магнитопровода которых характеризуется большой магнитной индукцией насыщения и высокой магнитной проницаемостью. Такими свойствами обладают пермаллоевые (железоникелевые) пленки, тонкопленочные материалы Fe₁₆N₂, многослойные пленки FeSi/NiFe и другие материалы.

Для воспроизведения записанной с высокой плотностью информации применяется высокочувствительный тонкопленочный элемент, электрическое сопротивление которого изменяется в магнитном поле. Такой элемент называется *магниторезистивным*. Он напыляется из высокопроницаемого магнитного материала, например пермаллоя. Относительное изменение электрического сопротивления пермаллового элемента в магнитном поле составляет около 2%. Эта величина, как показали результаты экспериментальных исследований последнего десятилетия, может достигать (например, в многослойных тонкопленочных материалах, однослойных гранулированных пленках и других материалах) десятков процентов, поэтому их называют материалами со сверхгигантским магнетосопротивлением.

Таким образом, с применением тонкопленочных магнитных материалов при изготовлении накопителей информации большой емкости уже реализована довольно высокая плотность записи информации. При модернизации таких накопителей и внедрении новых материалов следует ожидать дальнейшего увеличения информационной плотности, что весьма важно для развития современных технических средств записи, накопления и хранения информации.

Контрольные вопросы

1. Что является предметом изучения химии?
2. Какие задачи ставили алхимики?
3. Что такое химический элемент?
4. Сформулируйте закон кратных соотношений.
5. Дайте формулировку Периодического закона Менделеева.
6. Каковы темпы роста производства химической продукции?
7. В чем заключается специфика современных средств управления химическими процессами?
8. Что такое селективный синтез?
9. Каков молекулярный механизм фотосинтеза?
10. Охарактеризуйте основные виды катализа.
11. Чем отличается гетерогенный катализ от гомогенного?
12. Каким образом изучается химический состав космических объектов?
13. Каково процентное содержание химических элементов в верхнем слое земной коры?
14. Охарактеризуйте природные запасы металлов.
15. Назовите основные виды неметаллического сырья.
16. Как используется вторичное сырье?
17. Каковы запасы органического сырья?
18. Какие операции включает переработка нефти?
19. Для каких целей используется уголь?
20. Каковы перспективы использования биомассы?
21. Как получают сверхтяжелые трансурановые элементы?
22. Что такое остров стабильности?
23. Где применяют радиоактивные изотопы?
24. В чем заключаются преимущества плазмохимической технологии?
25. Что такое самораспространяющийся высокотемпературный синтез?
26. Почему с повышением давления повышается химическая активность реагентов?
27. Как выращивается искусственный алмаз?
28. Каковы перспективы применения фуллеренов?
29. Назовите основные виды пластмасс.
30. Как можно изменить свойства синтезируемого полимерного материала?
31. В чем заключается отличительное свойство эластомеров?
32. Какими свойствами обладают современные синтетические ткани?
33. Какое химическое сырье производят из древесины?
34. Охарактеризуйте новые виды стекла?
35. Как обеспечиваются новые свойства традиционных материалов?
36. Дайте краткую характеристику современным силикатным и керамическим материалам.
37. Каковы способы защиты материалов?
38. Назовите основные виды перспективных материалов.
39. Как можно повысить прочность материалов?
40. Приведите примеры применения редких металлов.
41. Где применяются нитиноловые изделия?
42. Какими свойствами обладают материалы диссоциации металлоорганических соединений?
43. Что такое металлические висцерсы?
44. Какие материалы применяются для современных накопителей информации?

7. БИОСФЕРНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

7.1. ЗАРОЖДЕНИЕ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Удивительная красота природы, ее богатейший растительный и животный мир, гармония живой и неживой природы — все это наводит на мысль: живая материя неотделима от неживой, в недрах которой рождается все живое, постоянно пополняя ее, и, кажется, жизненный круговорот в природе существует изначально и вечно. Но все же, если отвлечься от поверхностного и эмоционального восприятия красоты и гармонии природы, можно прийти и к несколько другому выводу — все-таки в начале образовалась неживая материя, породившая живую, которая проявляется в самых разнообразных формах. Как это произошло и когда — пока трудно даже предполагать. По-видимому, переход неживой материи к живой произошел после возникновения двух основополагающих жизненных систем — *системы обмена веществ* и *системы воспроизведения материальных основ жизни*. В современных организмах обе системы достигли высочайшего уровня совершенства. Одна и та же их физико-химическая природа для всех живых организмов независимо от их сложности дает основание полагать, что древо жизни произрастало из одного черенка.

Названные жизненные системы обуславливают основные признаки: рост и развитие, наследственность, изменчивость, саморегуляция и т.п. Поэтому, вне всякого сомнения, наличие системы обмена веществ и воспроизведения материальных основ жизни — главное отличительное свойство живых организмов.

Система обмена веществ поддерживает равновесное состояние живого организма. Такая сложная задача решается путем отбора и синтеза нужных организму веществ. При этом из организма выводятся все не усвоенные им вещества. Система обмена обеспечивает взаимосогласованные в высшей степени биохимические реакции синтеза и расщепления белков. Можно только завидовать тому, как экономно, филигранно и рационально осуществляет природа функцию обмена веществ во всех живых организмах — от простейшей клетки до высших организмов. Не случайно многие ученые с давних времен стремятся создать лабораторию живого организма.

Система воспроизведения материальных основ жизни содержит в закодированном виде полную информацию для развития и воспроизведения живого организма. Ключевая роль при этом принадлежит природному полимерному соединению — дезоксирибонуклеиновой кислоте, вы-

полняющей функции носителя генетической информации и рибонуклеиновой кислоте, которая служит для передачи информации от хромосом к местам синтеза белков.

Рассматривая вопрос о зарождении живых организмов, следует назвать еще одну важнейшую отличительную особенность, связанную с оптической активностью органических веществ живых организмов, т.е. способность поворачивать плоскость поляризации либо влево, либо вправо. Все белковые молекулы живых организмов поворачивают плоскость поляризации влево, что указывает на их левую пространственную конфигурацию — L-конфигурацию, а молекулы нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) — только вправо, т.е. обладают правой, или D-конфигурацией. Этот факт тем более удивителен, что при синтезе органических соединений аналогичного состава в лабораторных условиях образуется примерно одинаковое число молекул с правой и левой конфигурацией, поэтому их плоскость поляризации не поворачивается. Смесь органических молекул обеих конфигураций называется *рацематом*. Предполагается, что в преджизненный период образования органических соединений существовал только рацемат.

Молекулы с одинаковым химическим составом могут отличаться своей пространственной структурой, как левая и правая рука. Свойство молекул не совмещаться со своим отображением в плоском зеркале называется *хиральностью*, которая является необходимым условием оптической активности. При зарождении жизни произошла сортировка молекул, появилась хиральность и белки с L-конфигурацией, а ДНК и РНК с D-конфигурацией. Для объяснения такого процесса французский ученый Луи Пастер (1822—1895), основоположник микробиологии, открывший оптическую активность веществ живых организмов, выдвинул гипотезу: зеркальная асимметрия живых систем обусловлена асимметрией Вселенной. Отдавая должное широте взглядов выдающегося ученого, еще в XIX в. связавшего жизнь на Земле и Вселенную в единое целое, следует отметить: асимметрия Вселенной нарушила бы симметрию любого органического вещества независимо от природы его происхождения. В развитие гипотезы Пастера выдвигались разные предположения, одно из которых сводилось к утверждению существования каких-то агентов, оказывающих асимметричное воздействие на молекулы живых организмов. Однако обнаружить такие агенты пока не удалось. Согласно современным представлениям о происхождении жизни на Земле, выбор органическими молекулами определенного вида зеркальной симметрии послужил главной предпосылкой их выживания и последующего самовоспроизводства. Однако вопрос, как и почему произошел такой выбор, — до сих пор остается одной из самых больших загадок естествознания.

Несмотря на существенные различия между живой и неживой материей, их объединяет то, что в состав клеток живых организмов входят те же химические элементы, которые встречаются и в неживой природе.

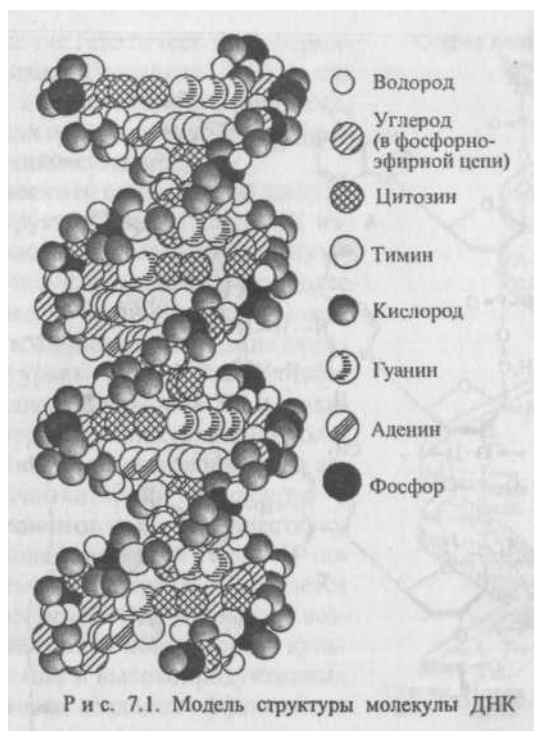
Так, 75 — 85% массы клетки составляет вода, 10 — 20% — белки, 1 — 5% — жиры, 0,2 — 2% — углеводы, 1 — 2% — нуклеиновые кислоты, 0,1 — 0,5% — низкомолекулярные органические соединения, 1 — 1,5% — неорганические вещества. И все эти органические и неорганические соединения состоят из 80 химических элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева. Химических элементов, свойственных только живой материи, в природе не существует. Это и есть одно из доказательств общности живой и неживой материи.

7.2. НОСИТЕЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Структура ДНК. Хранение и передачу наследственной информации в живых организмах обеспечивают природные органические полимеры — *нуклеиновые кислоты*. Различают их две разновидности — *дезоксирибонуклеиновую кислоту* (ДНК) и *рибонуклеиновую кислоту* (РНК). В состав ДНК входят азотистые основания (*аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), цитозин (Ц)*), дезоксирибоза $C_5H_{10}O_4$ и остаток фосфорной кислоты. В РНК вместо тимина содержится *урацил (У)*, а вместо дезоксирибозы — *рибоза* ($C_5H_{10}O_5$). Мономерами ДНК и РНК являются *нуклеотиды*, которые состоят из азотистых, пуриновых (аденин и гуанин) и пиримидиновых (урацил, тимин и цитозин) оснований, остатка фосфорной кислоты и углеводов (рибозы и дезоксирибозы).

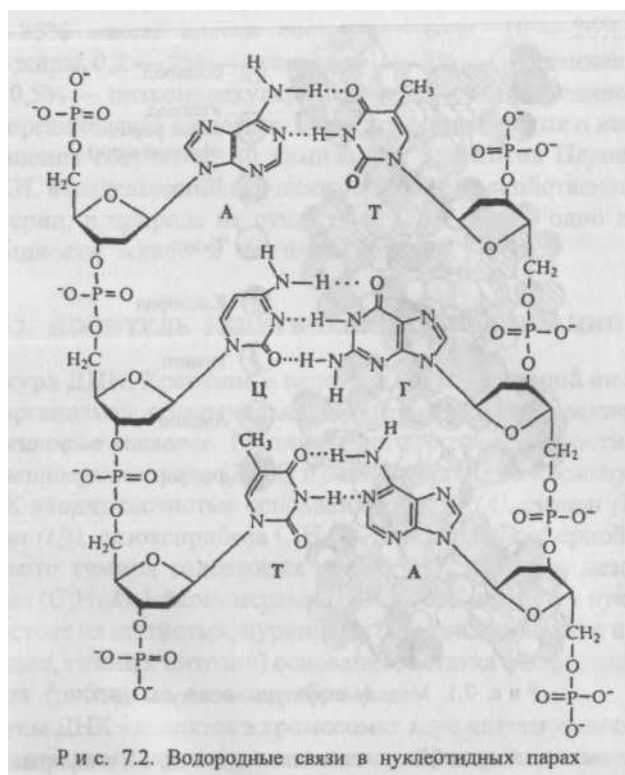
Молекулы ДНК находятся в хромосомах ядра клетки живых организмов, в эквивалентных структурах митохондрий, хлоропластов, в прокариотных клетках и во многих вирусах. По своей структуре молекула ДНК похожа на двойную спираль (рис. 7.1). Структурная модель ДНК в виде двойной спирали впервые предложена в 1953 г. американским биохимиком Дж. Уотсоном (р. 1928) и английским биофизиком и генетиком Ф. Криком (р. 1916), удостоенными вместе с английским биофизиком М. Уилкинсоном (р. 1916), получившим рентгенограмму ДНК, Нобелевской премией 1962 г.

Нуклеотиды соединяются в цепь посредством ковалентных связей. Образованные таким образом цепи нуклеотидов объединяются в одну молекулу ДНК по всей длине водородными связями: адениновый нуклеотид одной цепи соединяется с тиминным нуклеотидом другой цепи, а гуаниновый — с цитозинным (рис. 7.2). При этом аденин всегда распознает только тимин и связывается с ним, и наоборот. Подобную пару образуют гуанин и цитозин. Такие пары оснований, как и нуклеотиды, называются *комплементарными*, а сам принцип формирования двухцепочной молекулы ДНК — *принципом комплементарности*. Число нуклеотидных пар, например, в организме человека составляет 3 — 3,5 млрд.



ДНК — материальный носитель наследственной информации, которая кодируется последовательностью нуклеотидов. Расположение четырех типов нуклеотидов в цепях ДНК определяет последовательность аминокислот в молекулах белка, т.е. их первичную структуру. От набора белков зависят свойства клеток и индивидуальные признаки организмов. Определенное сочетание нуклеотидов, несущих информацию о структуре белка, и последовательность их расположения в молекуле ДНК образуют *генетический код*. Ген (от греч. *genos* — род, происхождение) — единица наследственного материала, ответственная за формирование какого-либо признака. Он занимает участок молекулы ДНК, определяющий структуру одной молекулы белка. Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма, называется *геномом*, а генетическая конституция организма (совокупность всех его генов) — *генотипом*. Нарушение последовательности нуклеотидов в цепи ДНК, а следовательно, в генотипе приводит к наследственным изменениям в организме — *мутациям*.

Генетический код обладает удивительными свойствами. Главное из них — триплетность: одна аминокислота кодируется тремя рядом распо-



ложенными нуклеотидами — триплетом, называемым *кодоном*. При этом каждый кодон кодирует только одну аминокислоту. Другое не менее важное свойство — код един для всего живого на Земле. Это свойство генетического кода вместе со сходством аминокислотного состава всех белков свидетельствует о биохимическом единстве жизни, которое, по-видимому, отражает происхождение всех живых существ от единого предка.

Для молекул ДНК характерно важное свойство удвоения — образования двух одинаковых двойных спиралей, каждая из которых идентична исходной молекуле. Такой процесс удвоения молекулы ДНК называется *репликацией*. Репликация включает в себя разрыв старых и формирование новых водородных связей, объединяющих цепи нуклеотидов. В начале репликации две старые цепи начинают раскручиваться и отделяться друг от друга (рис. 7.3). Затем по принципу комплементарности к двум старым цепям пристраиваются новые. Так образуются две идентичные двойные спирали. Репликация обеспечивает точное копирование генетической информации, заключенной в молекулах ДНК, и передает ее по наследству от поколения к поколению.

Кодирование генетической информации и репликация молекул ДНК — два важнейших взаимосвязанных процесса, составляющих основу развития и воспроизведения живых организмов.

Генетические свойства. Накануне открытия структуры молекулы ДНК известные биологи считали, что вторгнуться в наследственный аппарат, а тем более манипулировать с ним наука сможет лишь в XXI в. Однако, несмотря на сложность структуры и свойств наследственного материала, уже в конце XX в. родилась новая отрасль молекулярной биологии и генетики — *генная инженерия*, основная задача которой заключается в конструировании новых, не существующих в природе сочетаний генов. В последнее время эта отрасль называется *генной технологией*. Она открывает возможности выведения новых сортов культурных растений и высокопродуктивных пород животных, создания эффективных лекарственных препаратов и т.д.

Проведенные в последнее время исследования показали, что наследственный материал не стареет. Генетический анализ эффективен даже в том случае, когда молекулы ДНК принадлежат весьма далеким друг от друга поколениям. Сравнительно недавно была поставлена задача определить, кому принадлежат останки, найденные в захоронении под Екатеринбургом. Царской ли семье, расстрелянной в этом городе в 1918 г.? Или слепой случай собрал в одну могилу такое же число мужских и женских останков? Ведь в годы гражданской войны погибли миллионы... Образцы останков были отправлены в английский центр судебно-медицинской экспертизы — там уже накоплен большой опыт генного анализа. Из костной ткани исследователи выделили молекулы ДНК и провели анализ. С точностью 99% установлено: в исследуемой группе находятся останки отца, матери и их трех дочерей. Но может быть, это не царская семья? Предстояло доказать родство найденных останков с членами английского королевского дома, с которым Романовы связаны довольно близкими родственными узами. Анализ подтвердил родство погибших с английским королевским домом, и служба судеб-

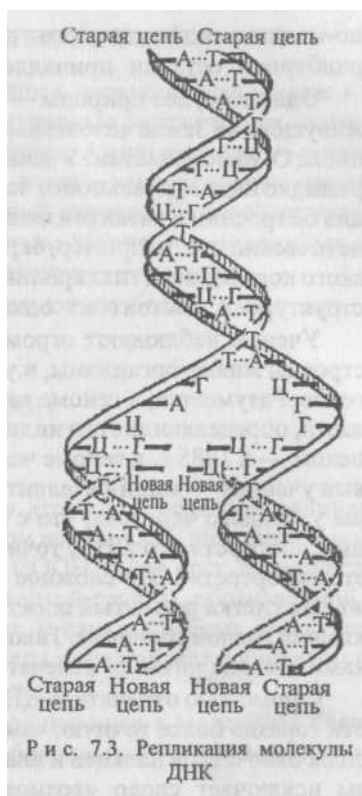


Рис. 7.3. Репликация молекулы ДНК

но-медицинской экспертизы сделала заключение: найденные под Екатеринбургом останки принадлежат царской семье Романовых.

Одно из чудес природы — неповторимая индивидуальность каждого живущего на Земле человека. «Не сравнивай — живущий несравним», — писал О. Мандельштам. Ученым долгое время не удавалось найти ключ к разгадке индивидуальности человека. Сейчас известно, что вся информация о строении и развитии живого организма «записана» в его геноме. Генетический код, например, окраски глаз человека отличается от генетического кода окраски глаз кролика, но у разных людей он имеет одинаковую структуру и состоит из одних и тех же последовательностей ДНК.

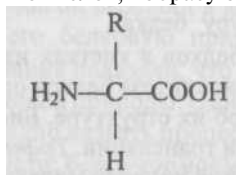
Ученые наблюдают огромное разнообразие белков, из которых построены живые организмы, и удивительное однообразие кодирующих их генов. Разумеется, в геноме каждого человека должны быть какие-то области, определяющие его индивидуальность. Долгий поиск увенчался успехом — в 1985 г. в геноме человека обнаружены особые сверхизменчивые участки — мини-сателлиты. Они оказались настолько индивидуальны у каждого человека, что с их помощью удалось получить своеобразный «портрет» его ДНК, точнее, определенных генов. Как же выглядит этот «портрет»? Это сложное сочетание темных и светлых полос, похожее на слегка размытый спектр, или на клавиатуру из темных и светлых клавиш разной толщины. Такое сочетание полос называют ДНК-отпечатками по аналогии с отпечатками пальцев.

С помощью отпечатков ДНК можно провести идентификацию личности гораздо более точную, чем это позволяют сделать традиционные методы отпечатков пальцев и анализ крови. Причем ответ генной экспертизы исключает слово «возможно». Вероятность ошибки чрезвычайно мала. Таким эффективным методом экспертизы уже пользуются криминалисты. С помощью ДНК-отпечатков можно расследовать преступления не только настоящего времени, но и далекого прошлого. Генная экспертиза по установлению отцовства — наиболее частый повод обращения судебных органов к генетической дактилоскопии. В судебные учреждения обращаются мужчины, сомневающиеся в своем отцовстве, и женщины, желающие получить развод на основании того, что их муж не отец ребенка. Идентификацию материнства можно проводить по отпечаткам ДНК матери и ребенка в отсутствие отца, и наоборот, для установления отцовства достаточно ДНК-отпечатков отца и ребенка. Генетиков всего мира интересуют сейчас прикладные аспекты генетической дактилоскопии. Обсуждаются вопросы паспортизации по отпечаткам ДНК преступников-рецидивистов, введения в картотеки следственных органов данных об отпечатках ДНК наряду с описанием внешности, особых примет, отпечатков пальцев. Таким образом, генетические свойства отражают индивидуальность живых организмов и вместе с тем характеризуют их наследственную связь.

7.3. СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

Структура белков. Белки — важнейшая составляющая живых клеток — представляют собой высокомолекулярные органические соединения, построенные из остатков 20 аминокислот. Аминокислоты — органические соединения, в состав которых входят карбоксильные группы COOH , аминогруппа NH_2 и углеводородный радикал. По своей структуре белки относятся к полимерам. Их молекулы имеют форму длинных цепей, состоящих из повторяющихся молекул — мономеров.

Общая формула аминокислот, образующих белок, имеет вид

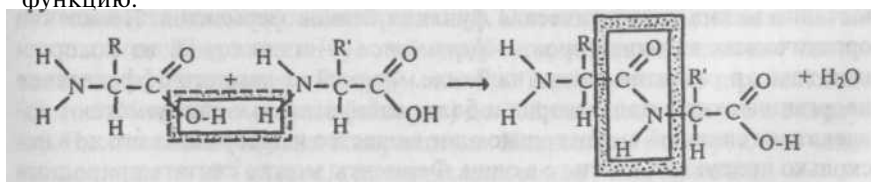


Из формулы видно, что к центральному атому углерода присоединены четыре разные группы. Три из них — атом водорода H , щелочная аминогруппа H_2N — и карбоксильная группа COOH — для всех аминокислот одинаковы. По составу и структуре четвертой группы, обозначенной R , аминокислоты отличаются друг от друга. В самых простых структурах, например в молекуле глицина, такая группа представляет собой атом водорода, в молекуле аланина — CH_3 и т.д.

Химическая связь — $\text{CO}-\text{NH}-$, соединяющая в молекулах белков аминогруппу одной аминокислоты с карбоксильной группой другой, называется *пептидной связью*.

Все активные организмы, будь то растения, животные, бактерии или вирусы, содержат белки, построенные из одних и тех же аминокислот. Поэтому в любой пище содержатся те же аминокислоты, которые входят в состав белков организмов, потребляющих пищу.

Белки — это природные органические соединения, состоящие из макромолекул, относительная молекулярная масса которых составляет от нескольких тысяч до нескольких миллионов. Каждая аминокислота белка содержит специфическую для нее группу. Аминокислоты образуют своеобразный алфавит из 20 букв, которые объединяются в группы (слова), определяющие молекулярную структуру белка и его биологическую функцию.



В определении «белки — это полимеры, построенные из 20 разных аминокислот» содержится их неполная характеристика. В лабораторных условиях не составляет труда в растворе аминокислот получить пептидные связи и сформировать длинные молекулярные цепи. Однако в таких цепях расположение аминокислот хаотическое, и образовавшиеся молекулы отличаются друг от друга. В то же время в каждом из природных белков порядок расположения отдельных аминокислот всегда один и тот же. А это означает, что при синтезе белка в живой системе используется информация, в соответствии с которой формируется вполне определенная для каждого белка последовательность аминокислот, определяющая пространственную структуру белка.

Образование молекул белков в клетках из аминокислот называется *биосинтезом*. В процессе биосинтеза белков определяющую роль играет генетическая информация об их структуре. Биосинтез белков состоит из двух этапов: транскрипции и трансляции. *Транскрипция* — это синтез молекул всех типов РНК на одной из цепей молекулы ДНК при помощи ферментов РНК-полимеразы. *Трансляция* — перевод информационной РНК в последовательность аминокислот. Сборка одной молекулы белка, состоящей из 200 - 300 аминокислот, происходит за 1 - 2 мин и требует сравнительно больших затрат энергии.

В последнее время в результате расшифровки генетического кода разработаны методы определения последовательностей аминокислот в белках. В лаборатории удалось синтезировать некоторые виды белков, идентичных природным аналогам, что весьма важно для развития современной биотехнологии.

Белки — основа кожи, шерсти, шелка и других натуральных материалов, важнейшие компоненты пищи человека и корма животных. Со второй половины XX в. для получения пищевых и кормовых белков применяется микробиологический синтез.

Функции белков. Во всех живых организмах белки играют исключительно важную роль: они участвуют в построении клеток и тканей, являются биокатализаторами (ферментами), гормонами, защитными веществами и др.

Одна из важнейших функций белков — *строительная*: по процентному содержанию веществ в клетке белки занимают второе место и определяют, таким образом, белковую природу всех живых организмов. Чрезвычайно важна каталитическая функция белков ферментов. Появление органических катализаторов — *ферментов* — стало одной из поворотных точек в развитии жизни на Земле. Ферменты намного эффективнее неорганических катализаторов и более избирательны: они помогают извлекать из сложной смеси только одно вещество и превращать его не в несколько продуктов, а только в один. Ферменты можно считать природными

ми нанороботами, главным рабочим инструментом всего живого. Они отвечают за все химические реакции, протекающие в живом организме: обеспечивают энергией и строительным материалом; создают и разрушают сигнальные молекулы, необходимые для регуляции жизненных процессов; защищают организм от чужеродных веществ. Еще ферменты перепишивают и размножают наследственную информацию, т.е. участвуют в синтезе РНК и ДНК, самих себя и других белков.

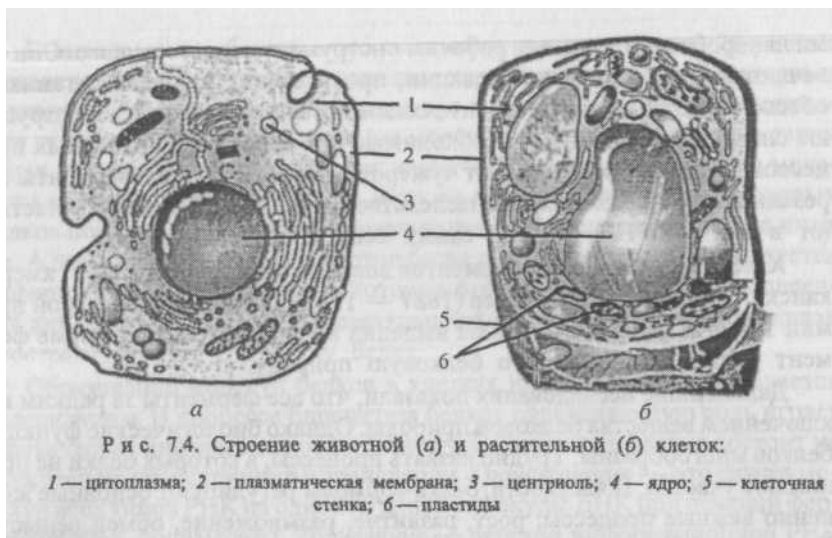
Химическую природу ферментов впервые определил в 1926 г. американский биохимик Дж. Самнер (1887 — 1955), лауреат Нобелевской премии 1946 г. Из соевых бобов он выделил в кристаллической форме фермент уреазу и доказал его белковую природу.

Дальнейшие исследования показали, что все ферменты за редким исключением вещества белковой природы. Однако биологические функции белков многообразны. Трудно назвать процессы, в которых белки не принимают участия. В частности, *белки-гормоны* регулируют основные жизненно важные процессы: рост, развитие, размножение, обмен веществ. Кроме того, белок входит в состав *гемоглобина* (красного дыхательного пигмента крови человека и многих животных), который переносит кислород от органов дыхания к тканям, а углекислый газ — от тканей к дыхательным органам. Роль гемоглобина чрезвычайно велика: он доставляет к кровеносной системой ко всем органам и в самые удаленные части тела и снабжает клетки кислородом. *Белки-иммуноглобулины* выполняют важную для организма защитную функцию. Они содержатся в глобулиновой фракции плазмы крови и участвуют в создании иммунитета. Мышечные сокращения и внутриклеточное движение — результат взаимодействия молекул белков, функция которых, кроме того, заключается и в координации движения.

Таким образом, белки принимают участие во всех жизненных процессах, составляющих основу жизнедеятельности живых организмов.

7.4. СТРОЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ КЛЕТОК

Все живые существа (как животные, так и растения) состоят из клеток, образующих ткани различных органов и их систем. *Клетка* представляет собой элементарную живую систему, основу строения и жизнедеятельности всех животных и растений. Она может существовать как самостоятельный организм (простейшие, бактерии), так и в составе многоклеточных организмов. Размеры клеток варьируются в пределах от 0,1 — 0,25 мкм (некоторые бактерии) до 155 мм (яйцо страуса в скорлупе). Число клеток в организмах различно. Например, тело взрослого человека состоит из 10^{15} клеток, а различных их видов в нем более 200.



Подобно любому организму клетка способна питаться, расти и размножаться, вследствие чего ее можно считать живым организмом. Отдельные составляющие ее части не обладают жизненными функциями. Клетки, выделенные из различных тканей живых организмов и помещенные в специальную питательную среду, могут расти и размножаться, что широко используется в исследовательских и прикладных целях.

Термин «клетка» впервые предложил в 1665 г. английский естествоиспытатель Роберт Гук для описания ячеистой структуры наблюдаемого под микроскопом среза пробки. Утверждение о том, что все ткани животных и растений состоят из клеток, составляет сущность *клеточной теории*. В экспериментальном обосновании клеточной теории важную роль сыграли труды немецких ученых-ботаников Маттиаса Шлейдена (1804—1881) и Теодора Шванна (1810—1882).

Несмотря на большое разнообразие и существенные различия во внешнем виде и функциях, все клетки имеют общее строение: они состоят из трех основных частей — *плазматической мембраны*, контролирующей переход вещества из окружающей среды в клетку и обратно, *цитоплазмы* с разнообразной структурой и *клеточного ядра* с носителем генетической информации (рис. 7.4). Все животные и некоторые растительные клетки содержат *центриоли* — цилиндрические структуры, образующие клеточные центры. Обычно растительные клетки окружены оболочкой — *клеточной стенкой*. Кроме того, они включают *пластиды* — цитоплазматические органоиды (специализированные структуры клеток), нередко содержащие пигменты, обуславливающие их окраску.

Окружающая клетку плазматическая *мембрана* состоит из двух слоев молекул жироподобных веществ, между которыми находятся молекулы белков. Она обладает избирательной проницаемостью и поддерживает нормальную концентрацию солей, Сахаров, аминокислот и других продуктов обмена веществ. Мембрана играет важную роль: при ее повреждении клетка сразу гибнет, в то же время без некоторых других структурных элементов жизнь клетки может продолжаться. Изменение проницаемости наружной мембраны — первый признак гибели клетки.

Внутри клеточной плазматической мембраны находится *цитоплазма*, содержащая водный раствор солей с растворимыми ферментами и другими веществами. В цитоплазме располагаются разнообразные *органеллы* — маленькие органы, окруженные своими мембранами. К органеллам, в частности, относятся *митохондрии* — мешковидные образования с дыхательными ферментами. В них превращается сахар и высвобождается энергия. В цитоплазме есть и небольшие тельца — *рибосомы*, состоящие из белка и нуклеиновой кислоты (РНК) и принимающие участие в биосинтезе белка. Внутриклеточная среда достаточно вязкая, несмотря на то что 75 — 85% массы клетки составляет вода.

Во всех жизнеспособных клетках, за исключением бактерий, содержится ядро. *Ядро* — важная часть клетки: без него она не может существовать. В ядре находятся *хромосомы* — длинные нитевидные тельца, состоящие из дезоксирибонуклеиновой кислоты и присоединенного к ней белка. Например, соматическая клетка человека имеет 23 пары хромосом, а шимпанзе — 24.

Клетки растут и размножаются путем деления на две дочерние. При делении дочерней клетке передается полный набор хромосом, несущих генетическую информацию материнской клетки. Для чего вначале число хромосом в клетке удваивается и затем каждая дочерняя клетка получает по одному их набору. Такой процесс деления клеток, обеспечивающий равное распределение генетического материала между дочерними клетками, называется *митозом*.

Не все клетки организма многоклеточного животного или растения одинаковы. Видоизменение клеток происходит постепенно в процессе развития организма. Каждый организм животного развивается из одной клетки — яйца, которое начинает делиться, и в конечном результате образуется множество отличающихся друг от друга клеток — мышечные, нервные, кровяные и др. Различие клеток определяется прежде всего набором белков, синтезируемых клеткой. Во всех клетках растений или организмов животных хранится полная генетическая информация для построения всех белков определенного вида организма, но в клетке каждого типа синтезируются лишь те белки, которые ей нужны.

В зависимости от типа клеток все организмы делятся на две группы — *прокариоты* и *эукариоты*. К прокариотам относятся бактерии, а к эукариотам — все остальные организмы — простейшие, грибы, растения и животные. Эукариоты бывают одноклеточными и многоклеточными. Прокариоты все одноклеточные. Они, в отличие от эукариот, не обладают оформленным клеточным ядром. Их молекулы ДНК не окружены ядерной мембраной и не организованы в хромосомы. Деление прокариот происходит без митоза. Размеры их относительно небольшие. Наследование признаков в них основано на передаче ДНК дочерним клеткам. Предполагается, что первыми организмами, появившимися на Земле около 3,5 млрд. лет назад, были прокариоты.

Клетки эукариот содержат митохондрии — специализированные органеллы, в которых происходят процессы окисления. В клетках растений, помимо митохондрий есть хлоропласты, способные производить фотосинтез, в результате которого из углекислого газа и воды образуются органические вещества. Хлоропласты и митохондрии очень похожи на некоторых бактерий, способных к фотосинтезу. В этой связи в 1910 г. российский биолог К.С. Мережковский (1855—1921) высказал предположение: хлоропласты и митохондрии произошли от свободноживущих бактерий, которые проникли в прокариотную клетку. Вначале они были внутриклеточными паразитами, затем в результате эволюции стали приносить пользу клетке-хозяину и постепенно превратились в хлоропласты и митохондрии. Возможно, таким образом примерно 1400 млн. лет назад возникли клетки эукариот.

Если одноклеточный организм, например бактерия, не гибнет от внешнего воздействия, то он остается бессмертным, т. е. не умирает, а делится на две новые клетки. Многоклеточные организмы живут лишь ограниченное время. В организмах животных они содержат два типа клеток: *соматические* и *половые*. Половые клетки, так же как и бактерии, бессмертны. После оплодотворения образуются соматические клетки, которые смертны, и новые половые.

Растения содержат особую ткань — *меристему*, состоящую из клеток, способных образовывать другие типы клеток. По этому признаку клетки меристемы похожи на половые, т.е. их можно считать бессмертными. Они обновляют ткани растений, поэтому некоторые виды растений могут жить тысячи лет. В организмах примитивных животных (губки, актинии) есть подобная ткань, и они живут сравнительно долго.

Соматические клетки высших животных делятся на два вида. Один из них — клетки, живущие недолго, но постоянно возобновляющиеся за счет особой ткани — *меристемы*. К ним относятся, например, клетки эпидермиса — поверхностного слоя кожи. Другой вид — клетки нервные, мышечные и др. Во взрослом организме они не делятся и поэтому не возобновляются, стареют и гибнут.

Принято считать, что главная причина старения организма — утеря генетической информации. Молекулы ДНК постепенно повреждаются мутациями, что приводит к гибели клеток и всего организма. Поврежденные участки молекулы ДНК способны восстанавливаться благодаря репаративным ферментам. Хотя их возможности ограничены, но они играют важную роль в продлении жизни организма.

7.5. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

Происхождение жизни — один из самых сложных, трудных и в то же время интересных вопросов современного естествознания. В лабораторных условиях до сих пор не удалось воспроизвести процессы возникновения жизни такими, какими они были миллиарды лет назад. Ведь даже тщательно поставленный опыт — лишь модель, приближенно учитывающая условия появления жизни на Земле. Тем не менее постепенно расширяются представления о зарождении жизни. Существенный вклад в решение вопроса о происхождении жизни внесли академик АН СССР, биохимик А.И. Опарин (1894—1980), английские естествоиспытатели Дж. Бернал (1901—1971), Б.С. Холдейн (1892—1964) и др.

История жизни и история Земли неотделимы друг от друга. Именно в процессах развития нашей планеты формировались основные условия зарождения жизни — диапазоны температур, влажности, давления, уровень радиации и т. п. Например, диапазон температур, в котором возможна активная жизнь, довольно узок (рис. 7.5).

Одна из гипотез о происхождении Земли и всей Солнечной системы, как уже отмечалось, заключается в том, что Земля и все планеты сконденсировались из космической пыли и газа, рассеянных вокруг Солнца. Во внешних областях Солнечной системы в результате конденсации газов образовались различные летучие *органические соединения*, содержащие один из основных элементов всех живых организмов — *углерод*. При нагревании Солнцем они вновь превращались в газ, а из некоторой их части под действием излучения образовались менее летучие вещества — углеводороды (соединения углерода с водородом) и соединения азота. Возможно, из пылевых частиц с оболочками из органических соединений сформировались сначала астероиды, а затем планеты. Такие предположения подтверждают то, что планеты-гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран — состоят преимущественно из метана, водорода, аммиака, льда и других веществ. Более того, в метеоритах обнаружен *аденин* — одна из аминокислот, входящих в состав молекулы ДНК. Аденин удалось синтезировать в лабораторных условиях при моделировании первичной атмосферы Земли, а органические соединения, играющие большую роль в обмене ве-



Р и с. 7.5. Шкала земных и космических температур

ществ живых организмов, — щавелевую, муравьиную и янтарную кислоты — получили при облучении водных растворов углекислоты.

Первичная атмосфера Земли, как и других планет, содержала, по-видимому, метан, аммиак, водяной пар и водород. При воздействии в лаборатории на смесь таких газов электрическими разрядами, имитирующими молнию, и ультрафиолетовым излучением синтезированы сложные органические вещества, входящие в состав натуральных белков. Вероятно, электрические разряды, световая и ультрафиолетовая радиация еще до образования Земли или на самой первой стадии ее развития способствовали образованию сложных *органических веществ*.

Какие же химические элементы являются основными слагаемыми всего живого, его «кирпичиками»? Это, в первую очередь *кислород, углерод, водород и азот*. Их принято называть *органогенами*. В живой клетке, например, по массе содержится около 70% кислорода, 17% углерода, 10% водорода, 3% азота. Количество фосфора, калия, хлора, серы, кальция,

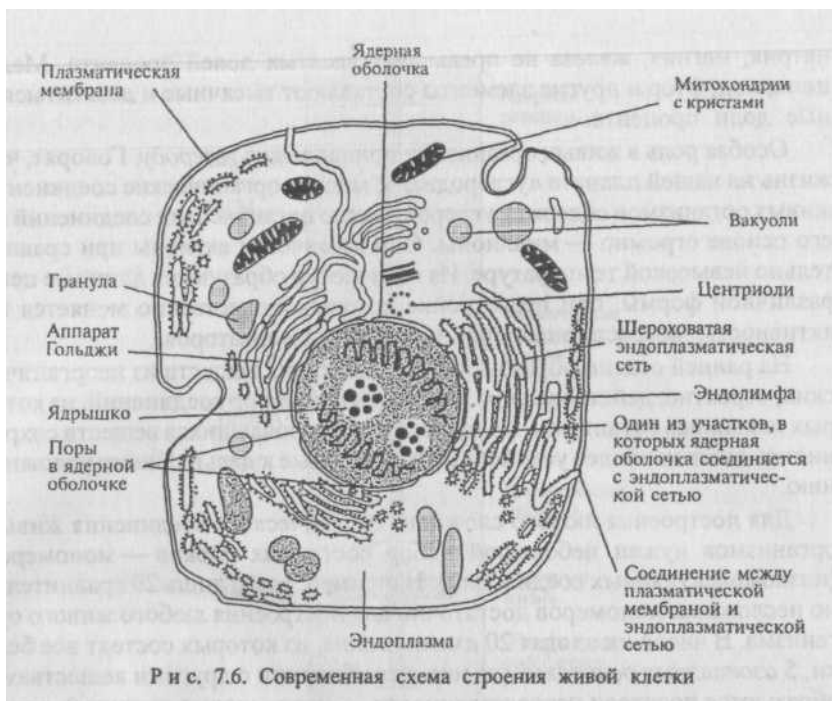
натрия, магния, железа не превышает десятых долей процента. Медь, цинк, иод, фтор и другие элементы составляют тысячные и десятитысячные доли процента.

Особая роль в живых организмах принадлежит *углероду*. Говорят, что жизнь на нашей планете «углеродная»: многие органические соединения живых организмов содержат углерод. Число органических соединений на его основе огромно — миллионы. Они химически активны при сравнительно невысокой температуре. Из их молекул образуются длинные цепи различной формы, при перестройке которых существенно меняется их активность, возрастающая при наличии катализаторов.

На ранней стадии образования органических веществ из неорганических, вероятно, действовал *предварительный отбор* соединений, из которых появились организмы. Из множества образовавшихся веществ сохранились лишь наиболее устойчивые и способные к дальнейшему усложнению.

Для построения любого сложного органического соединения живых организмов нужен небольшой набор составных блоков — мономеров (низкомолекулярных соединений). Например, всего лишь 29 сравнительно несложных мономеров достаточно для построения любого живого организма. В число их входят 20 *аминокислот*, из которых состоят все белки, 5 *азотистых оснований* (из них в комбинации с другими веществами образуются носители наследственности — нуклеиновые кислоты), а также *глюкоза* — важнейший источник энергии, необходимой для жизнедеятельности, и *жиры* — структурный материал мембран клеток и накопитель энергии. Такое сравнительно небольшое число органических соединений — результат естественного отбора, выделившего в течение почти миллиарда лет из огромного количества веществ лишь необходимые для живых систем. Это означает, что эволюции организмов предшествовала очень длительная *химическая эволюция*.

Соединения на основе углерода образовали «первичный бульон» гидросферы. Согласно одной из гипотез, содержащие углерод и азот вещества возникали в расплавах в глубине Земли и выносились на поверхность при извержении вулканов. Размываясь водой, они попадали в океан, где и образовывался «первичный бульон». Важнейшую роль в зарождении живых организмов сыграло объединение множества отдельных молекул органических веществ в упорядоченные молекулярные структуры — *биополимеры*: белки и нуклеиновые кислоты, обладавшие важнейшим биологическим свойством воспроизведения себе подобных. Свободный *кислород* появился значительно позже углерода в результате фотосинтеза, происходившего вначале в водорослях и бактериях, а затем и в наземных растениях. Бескислородная среда способствовала, по-видимому, синтезу биополимеров: кислород как сильный окислитель разрушал бы их.



В результате объединения несложных органических соединений образовались вначале *ферменты* — белковые катализаторы, а затем *нуклеиновые кислоты* — носители наследственной информации. Можно считать, что с этого момента на Земле возникла жизнь. *Жизнь* — это особая форма существования материи. Характерные особенности жизни — обмен с внешней средой, воспроизведение себе подобных, постоянное развитие и т.п.

К концу *биохимической стадии* развития жизни появились структурные образования — *мембраны*, сыгравшие важную роль в построении клеток. Первые организмы на Земле были одноклеточные — *прокариоты*. Проходили сотни миллионов, даже миллиарды лет, в течение которых из прокариот образовывались *эукариоты*, в их клетке сформировались ядро с веществом, содержащим код синтеза белка, ядрышко, находящееся в ядре, и другие структурные элементы (рис. 7.6). С появлением эукариот наметился выбор растительного или животного образа жизни, различие между которыми заключается в способе питания и связано с важнейшим для всего живого процессом — *фотосинтезом*.

Фотосинтез сопровождается поступлением в атмосферу *кислорода*. Подсчитано, что благодаря фотосинтезу весь углекислый газ планеты

ты — и в атмосфере, и растворенный в воде — обновляется примерно за 300 лет, а весь кислород — за 2 тыс. лет. По-видимому, нынешнее содержание кислорода в атмосфере (21%) было достигнуто 250 млн. лет назад в результате интенсивного развития растений.

Предполагается, что многоклеточные организмы родились из одноклеточных. Теорию происхождения многоклеточных организмов создал наш соотечественник, выдающийся ученый И.И. Мечников (1845—1916), лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1908 г. Многоклеточные организмы прошли долгий путь эволюции жизни, о чем свидетельствует палеонтологическая летопись, окаменевшие страницы которой постепенно открывают тайны происхождения жизни.

7.6. ПРЕДПОСЫЛКИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ИДЕИ

Многообразие форм жизни. Жизнь на Земле... Богатство ее форм поразительно! Выйдите летом на лесную лужайку. Среди зеленой травы и цветов стрекочут кузнечики, суетятся муравьи. По веткам деревьев прыгают белки, в небесной голубизне заливается жаворонок... Особый восторг вызывают альпийские луга. Жизнь существует и в глубинах океана, и за полярным кругом, и на вершинах самых высоких гор и даже еще выше — в разреженных слоях атмосферы, где обнаружены многие виды микроорганизмов.

Всегда ли формы жизни были такими, какими мы их наблюдаем сегодня, или в течение многих тысячелетий они прошли длинный путь развития? С древних времен люди по-разному отвечали на этот вопрос. Согласно библейской книге «Бытие», «Бог в третий день сотворил растительный мир: траву, сеющую семя, дерево плодовитое, приносящее по роду своему плод, в котором семя его на земле». На пятый день «сотворил Бог рыб больших и всякую душу животных пресмыкающихся, которых произвела вода, по роду их, и всякую птицу пернатую по роду ее». На шестой день Он создал «зверей земных по роду их, и скот по роду его, и всех гадов земных по роду их» (Быт. 1:11, 21, 25).

Многообразие форм жизни, чрезвычайная сложность строения и наблюдаемая целесообразность поведения живых организмов приводят к мысли: *жизнь* — это нечто большее, чем просто физическое и химическое явление. Живые существа по сравнению с объектами неживой природы обладают рядом отличительных свойств, благодаря которым достигается вполне определенная цель. Поэтому еще с древних времен возникла идея: хотя живые существа и материальны, но живую материю, видимо, «одушевляет» некий нематериальный фактор. Такой точки зрения придерживались и придерживаются многие люди разных религиозных и философских убеждений. Эта точка зрения лежит в основе *витализ-*

ма — течения в биологии, признающего наличие в организмах нематериальной сверхъестественной силы («жизненной силы», «души» и др.), управляющей жизненными явлениями.

Результаты современных экспериментов показывают, что фундаментальные законы природы — законы сохранения массы и энергии — для живых систем выполняются в пределах точности эксперимента так же, как и для неживых объектов. При превращении Сахаров, жиров или белков в организме высвобождается то же количество энергии, что и в лабораторных условиях, и в этом смысле организм человека или животного подобен неживой химической системе. Если и существует некая «жизненная сила», присущая только живой материи, то она по природе своей не способна нарушить основополагающие законы природы — законы сохранения массы и энергии. Многочисленные опыты показывают, что в биологических системах ни один закон физики и химии не нарушается. Однако из этого утверждения поспешно делать вывод, что живые системы подчиняются только законам физики и химии.

Характеризуя различия между живой и неживой материей, кроме упомянутой целесообразности следует назвать и *осмысленность* действий живых систем. Смысл не может существовать в форме полностью бестелесного «духа». Он исчезает, если не воплощен в некоторой материальной системе, включающей, например, вполне определенную конфигурацию нервных связей в мозгу. В то же время смысл может не зависеть от конкретной физической системы его реализации. Например, исходящий от человека смысл одного и того же лозунга не зависит от технических средств его воплощения.

С древних времен известна идея о постепенном видоизменении живых форм, высказанная в V в. до н.э. древнегреческим философом Эмпедоклом. И все же на протяжении многих веков представление о неизменности форм органического мира оставалось господствующим, потому что человек, по меткому выражению Чарлза Дарвина, смотрел на органический мир, «как дикарь смотрит на корабль, то есть как на нечто превышающее его понимание».

Зарождение эволюционной идеи. Что поражает нас при знакомстве со строением любого живого организма? Прежде всего его целесообразность. Гончар ритмичным нажатием педали вращает гончарный круг, его искусные пальцы на наших глазах превращают бесформенный кусок глины в изящный кувшин. Сосуд предназначен для определенной цели — хранить воду, и он устроен так, чтобы выполнять эту задачу наилучшим образом. Широкое дно придает ему устойчивость, а узкое горлышко уменьшает нагрев и испарение воды. Только самый верх горлышка расширен в виде воронки — иначе в кувшин было бы трудно наливать воду.

Если кувшин сделан подлинным мастером, он красив и вместе с тем целесообразен, его можно назвать совершенным творением.

В чем же целесообразность организации живого организма? Возьмем любую болотную птицу, например цаплю. У нее длинные оголенные ноги: оставаясь сухой, она может ходить по мелководью. Длинным клювом она добывает из-под воды пищу. Ноги плавающих птиц (уток, гусей), наоборот, короткие, лапы с перепонками; специальные железы выделяют жир, чтобы их оперение не смачивалось водой. При объяснении целесообразности строения органов подобных птиц возникает вопрос: кто же создал их, столь удачно приспособленных к жизни на болоте или озере? Конечно, не люди. Значит?.. Значит, их сотворил другой, более могущественный Творец!

И все же дерзкие умы не могли смириться с таким ответом. Французский натуралист XVIII в. Ж. Бюффон (1707—1788) склонялся к мысли о постепенном совершенствовании живых организмов, а его последователь соотечественник Ж. Ламарк (1744—1829) впервые попытался создать стройную *теорию эволюции жизни на Земле*. Основным фактором эволюции Ламарк считал упражнение одних органов и пассивность других. Если орган упражняется, рассуждал Ламарк, то он постепенно усиливается, а если не упражняется, то ослабевает и отмирает. На первый взгляд, все ясно. Сравните гимнаста с человеком, не занимающимся спортом. У первого мышцы упруги и эластичны, они так и играют под кожей. У второго мышцы дряблые, под кожей изрядный слой жира. И если задать вопрос, каким же образом гимнаст достиг успехов, то на него без особого труда сможет ответить каждый: путем упражнения!

Однако этот вопрос не покажется столь простым, если перейти к детям этих людей. Конечно, они могут пойти по стопам своих отцов, тогда различия между ними будут такими же. Ну а если и те, и другие одновременно начнут заниматься спортом у одного и того же тренера и с равным прилежанием? Можем ли мы утверждать, что в таком случае дети гимнаста обязательно добьются лучших спортивных результатов, чем их товарищи? В общем виде этот вопрос можно сформулировать так: передаются ли детям те признаки, которые у родителей выработались путем упражнений или в результате приспособления к внешним условиям? Ламарк на этот вопрос отвечал: передаются! Если вернуться к примеру с болотными и плавающими птицами, то, по мнению Ламарка, их предки, ничем не отличавшиеся от обычных птиц, попав в силу обстоятельств в особые условия, например на болото, стали усиленно упражнять свои ноги, которые начали удлиняться и постепенно достигли длины ног современной цапли. Другие птицы, вынужденные жить и питаться на озерах и реках, пытались плавать, быстро разводя и соединяя пальцы. От это-

го кожа у оснований пальцев растягивалась, и в результате через много поколений образовались плавательные перепонки.

Однако предположение Ламарка о развитии и совершенствовании уже имеющихся органов не отвечало на такой важный вопрос: каковы причины появления совершенно новых органов? В самом *деле*, каким «упражнением» можно объяснить появление рогов у некоторых животных? Чтобы найти выход из создавшейся ситуации, Ламарк наделил живые существа особым свойством — стремлением к совершенству, благодаря которому весь органический мир непрерывно изменяется, улучшается, т.е. развивается.

Взгляды Ламарка, изложенные им в 1809 г., не нашли признания у современников. Куда большей популярностью пользовались воззрения его соотечественника Ж. Кювье (1769—1832). Пока Ламарк размышлял о причинах целесообразности живых организмов, Кювье избрал ее основным орудием исследования. Он исходил из того, что все органы в организме взаимообусловлены и соотнесены. Возьмем, например, травоядное животное. Растительная пища малопитательна, для удовлетворения потребностей организма необходимо ее большое количество. Значит, желудок травоядного животного должен быть большим. Размер желудка обуславливает размеры других внутренних органов: позвоночника, грудной клетки. Массивное тело может держаться на мощных ногах, снабженных твердыми копытами, а длина ног обуславливает длину шеи, чтобы животное могло свободно щипать траву. Зубы у него должны быть широкими, плоскими, с большой истирающей поверхностью. Иное дело хищники. Пища у них более питательна, значит, желудок может быть небольшим. Хищнику нужны мягкие лапы с подвижными когтистыми пальцами, чтобы незаметно подкрадываться к добыче и хватать ее. Шея у хищника должна быть короткой, зубы острыми и т.д.

Свой метод Кювье довел до такого совершенства, что нередко по одному найденному зубу ему удавалось восстанавливать облик всего животного. Если же он располагал скелетом или хотя бы его частью, то успех был обеспечен. Так Кювье открыл целый мир ископаемых животных. Гигантские ящеры, некогда обитавшие на Земле, мамонты и мастодонты — мы сейчас хорошо осведомлены о них, и заслуга в этом принадлежит прежде всего Кювье. Своей работой ученый внес огромный вклад в будущую эволюционную теорию.

Изучая вымерших животных, Кювье обнаружил, что останки одних видов относятся к одним и тем же геологическим напластованиям и не встречаются в смежных. Отсюда он сделал вывод, что животные, некогда населявшие нашу планету, погибали почти мгновенно от каких-то неизвестных причин, а позднее на их месте появлялись новые обитатели, не имевшие ничего общего со своими предшественниками. К тому же, по

данным Кювье, многие нынешние участки суши когда-то были морским дном, причем море здесь наступало и отступало по нескольку раз. При этом осадочные породы, которые должны были располагаться горизонтально, часто оказывались изломанными, смятыми в гигантские складки. На основании этих фактов Кювье предположил: на Земле время от времени происходили гигантские катастрофы, уничтожавшие целые материки, а вместе с ними и всех их обитателей. Позднее на их месте появлялись новые организмы. Теория катастроф в начале XIX в. выглядела вполне убедительной.

Примерно в то же время к геологическим исследованиям приступил англичанин Ч. Лайель (1797—1875). Он скорее интуитивно, чем сознательно, почувствовал произвольный характер теории катастроф. Много путешествуя, он обращал особое внимание на постоянно происходящие в окружающей среде геологические процессы. Чтобы понять прошлое Земли, надо изучить ее настоящее — вот основной принцип научных исследований Ч. Лайеля. Наблюдая за отложениями в дельтах рек, за влиянием ветра, морских приливов и отливов, изучая образование мелей, кратеры вулканов, Лайель пришел к убеждению, что медленные, незначительные изменения на Земле могут и сегодня привести к самым поразительным результатам, если будут происходить достаточно долго и в одном направлении. Особенно тщательно Лайель изучал отложения третичной эпохи развития Земли, которая предшествует нашей. Он отметил, что многие организмы, обитавшие тогда, встречаются на Земле и сейчас. В разное время появлялись новые виды и доживали свой век старые. Такие выводы противоречили теории Кювье. Сам Лайель не утверждал, что одни виды происходили от других, — подобная мысль даже не приходила ему в голову. Но, доказав медленный, постепенный характер геологических изменений, он создал еще одну предпосылку развития эволюционной идеи.

7.7. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ

Развитие эволюционной идеи. В 1831 г., отправляясь в кругосветное плавание, молодой англичанин Чарлз Дарвин прихватил с собой только что вышедший первый том «Основ геологии» Лайеля, а через пять лет привез из плавания огромное количество материалов, подтверждающих правоту его основополагающей идеи. Но это не все: Дарвин привез и нечто большее — убеждение в том, что все виды живого изменчивы, что все животное и растительное царство, каким мы его знаем сегодня, — результат постепенного, очень длительного развития сложного органического мира.

Проблемой эволюции Ч. Дарвин начал вплотную заниматься в 1836 г. после возвращения из кругосветного путешествия. Иногда он обсуждал

ее с лишь немногими своими коллегами, в том числе и в переписке. Казалось, что он целиком погрузился в изучение классификации усконогих раков и исполняет обязанности секретаря Геологического общества. Коллеги советовали ему опубликовать свою гипотезу об эволюции, но он не последовал их совету. И вот 14 июня 1858 г. Дарвин получил письмо от Алфреда Уоллеса (1823—1913) из Тернате на Молуккских островах. В письме находилась статья, которую Уоллес просил передать Ч. Лайелю, известному геологу и другу Дарвина. В ней кратко излагалась сущность теории эволюции путем естественного отбора.

Предположение о том, что виды могут изменяться, Уоллес опубликовал в одной из своих работ раньше, в 1855 г. Эта идея возникла после прочтения им в 1858 г. труда английского ученого Томаса Мальтуса (1766—1834) «Опыт о законе населения», основная мысль которого сводилась к тому, что каждая популяция стремится максимально размножиться без учета средств существования, и когда она достигает некой предельной численности, зависящей от условий жизни, дальнейшему росту начинает препятствовать нищета: излишняя численность популяции должна погибнуть. Это может происходить трагически и внезапно или в результате возрастания смертности с приближением к пределу возможного роста. Мальтус специально не занимался вопросом, кто выживет, а кто погибнет. Догадка Уоллеса состояла в том, что выживать будет не случайная выборка из популяции, а те особи, которые лучше приспособлены к условиям существования. Если их приспособляемость выше среднего уровня для всей популяции и она хотя бы частично наследуется, то вид в целом будет изменяться в направлении большей приспособляемости, т.е. более высокой адаптации к среде обитания. Интересно, что Дарвин пришел к подобным же выводам и тем же путем — прочитав труд Мальтуса.

Уоллес, в то время малоизвестный натуралист, занимался сбором тропических насекомых. Однако в сложившейся ситуации его сообщение нельзя было игнорировать. Посоветовавшись со своими коллегами, прежде всего с Ч. Лайелем и Дж. Гукером (1817—1911), известным ботаником, Дарвин решил объединить выдержки из письма, которое он незадолго до этого отослал американскому ботанику А. Гресо, резюме неопубликованной статьи, написанной еще в 1844 г., и сообщение Уоллеса. Все это было оформлено в виде доклада, представленного 1 июля 1858 г. Линнеевскому обществу. Книга Дарвина «Происхождение видов» вышла в свет в ноябре 1859 г., и все 1250 экземпляров ее были распроданы в первый же день.

Большой интерес к идее естественного отбора был обусловлен вовсе не тем, что Дарвин и Уоллес постулировали превращение одних видов в другие, т.е. сам факт эволюции. Об этом и раньше говорили многие, и прежде всего Ламарк, Эразм Дарвин — дед Ч. Дарвина, и много рань-

ше — Анаксимандр в Древней Греции. Интерес определялся в основном тем, что был предложен механизм «конструирования» живых существ без участия Творца. Такой механизм вполне устраивал противников утверждения: если что-то сотворено, то должен быть и Творец.

Некоторые видные ученые, современники Дарвина, тем не менее остались весьма активными антиэволюционистами. К их числу принадлежали английский зоолог Р. Оуэн (1804—1892), швейцарский естествоиспытатель Ж.Л. Агассис (1807—1873) и др. Даже известный геолог Ч. Лайель поверил в идею эволюции не сразу. Основываясь на данных палеонтологии, они признавали появление новых видов, но полагали, что это результат каких-то пока непонятных естественных процессов, а не постепенного превращения одного вида в другой. В то же время идеи Дарвина поддерживали Т. Гексли (1825—1895) в Англии, Э. Геккель (1834—1919) в Германии, К.А. Тимирязев (1843—1920) в России.

Для тех, кто требовал от теории эволюции полной убедительности, оставалась одна непреодолимая трудность, связанная с природой наследственности. В то время ни Уоллес, ни Дарвин, ни другие ученые еще не знали законов наследования признаков. Правда, известно было, что иногда признаки могут проявляться не во всех поколениях подряд. Этот таинственный феномен, названный позднее *атавизмом*, состоит в том, что у потомков вдруг снова появляются признаки более или менее отдаленных предков. Полагали, однако, что наследственность в целом основана на принципе смешивания, за исключением отдельных случаев. Например, у какого-то растения могли быть либо белые, либо красные цветки. При механизме смешивания у гибрида цветки должны быть розовыми, а при скрещивании красного цветка с розовым — темно-розовыми и т.д. Во многих случаях так и бывает. Из этого следовал важный вывод: новый признак, появившийся у какого-то индивидуума как мутация, со временем должен исчезнуть, раствориться в популяции, как капля в море.

Анализируя механизм усреднения признаков, британский инженер и физик Ф. Дженкин, обладая математическим складом ума, в 1867 г. на основании строгих элементарных арифметических выкладок доказал, что в случае усреднения признаков при скрещивании естественный отбор не работает. Дарвин так и не нашел убедительного ответа на его доказательство. Промежуточное проявление признаков у потомков означало, что все генетические различия в популяциях должны быстро нивелироваться, и тогда вся популяция становится однородной, состоящей из весьма сходных индивидуумов.

Выяснению механизма наследования признаков посвящены опыты по скрещиванию гороха, проведенные австрийским естествоиспытателем Грегором Менделем (1822—1884). Все началось с того, что Г. Мендель, монах из монастыря св. Августина в Брюнне (ныне этот город в

Брно в Чехии, в те времена в Австро-Венгрии), в 1850 г., т.е. задолго до того как Дарвин и Уоллес представили доклад по эволюции, пытался получить свидетельство на право преподавать естественные науки, но не смог сдать экзамен. Желая подготовиться к испытаниям, он поступил в университет в Вене, где в течение четырех семестров изучал математику, биологию, химию и физику. Затем он вернулся в Брюнн и стал в своем саду выращивать горох. Опыты, поставленные на горохе, с легкостью и изяществом помогли установить природу наследственности. В своих опытах по скрещиванию гороха Г. Мендель показал, что *наследственность не имеет, как тогда считалось, промежуточного характера — признаки передаются дискретными частицами, которые сегодня называются генами.*

В диплоидных организмах, т.е. организмах с двумя наборами хромосом, к которым относятся и горох, и человек, каждому признаку соответствуют два гена. Они могут быть либо точными копиями, либо вариантами (аллелями) друг друга. От каждого из родителей потомок получает по одному такому гену. Гены содержатся в небольших тельцах, хромосомах, находящихся в клеточном ядре.

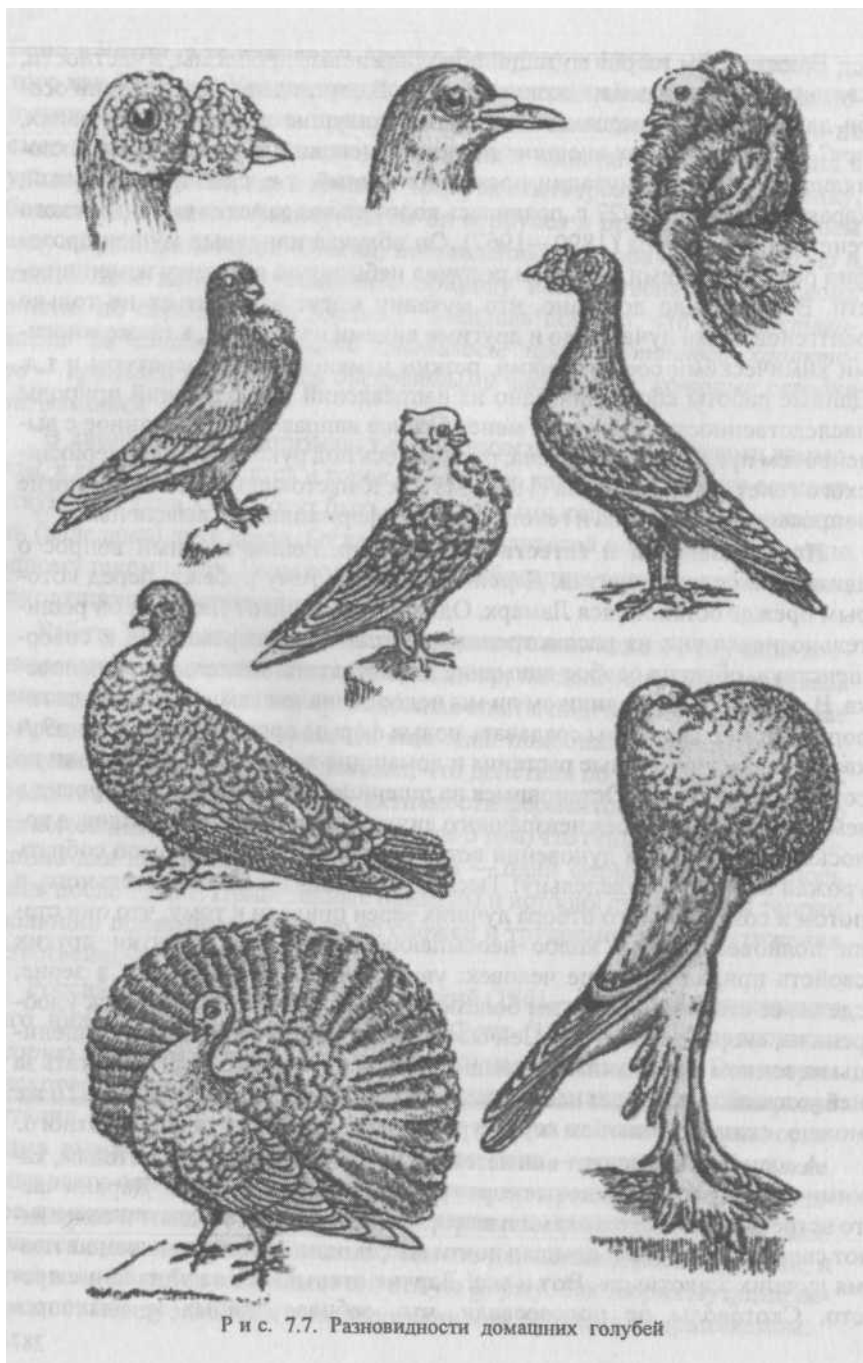
Работа Менделя была написана исключительно ясно и с научной точкой зрения представляла настоящий шедевр, но долгое время оставалась невостребованной. Только проведенные опыты подтвердили полученные им результаты. Можно привести еще один подобный пример. В 1902 г. лондонский врач А. Геррод показал, что действие по крайней мере некоторых генов состоит в контроле активности ферментов. Эта работа также оказалась незамеченной. Представление о том, что гены содержат информацию для построения белка (один ген — один фермент), утвердилось лишь после 1945 г. Приведенные примеры и история становления теории эволюции показывают, насколько сложен и трудоемок путь постижения естественно-научной истины.

Российский ботаник С.И. Коржинский (1861—1900) и независимо от него нидерландский ученый Хуго де Фриз (1848—1935) предложили *теорию мутаций* — внезапных изменений наследственности. Эта теория в некоторой степени проливали свет на процесс изменчивости. Чем резче мутация, чем крупнее скачок, тем меньше шансов для новой формы организма выжить в данных условиях. Иное дело — мутации небольшие. Чаще всего они тоже вредны для организма, но в редких случаях небольшое изменение может быть полезным. Организм совершенствуется, оказывается лучше приспособленным, чем его неизменившиеся сородичи, и естественный отбор закрепляет его новую форму. Так теория мутаций навела мост между законами о наследственности Менделя и дарвинизмом.

Вместе с тем теория мутаций породила новые проблемы, в частности, связанные причинами их возникновения. В самом деле, почему одни особи данного вида изменяются, а другие, живущие в таких же условиях, нет? Не видя никаких внешних причин изменений, многие ученые склонялись к тому, что мутации носят спонтанный, т.е. самопроизвольный, характер. Но вот в 1927 г. появилась коротенькая заметка американского генетика Г. Меллера (1890—1967). Он облучал плодовых мушек дрозофил рентгеновскими лучами и получил небывалую вспышку изменчивости. Вскоре было доказано, что мутации могут вызываться не только рентгеновскими лучами, но и другими видами излучений, а также многими химическими соединениями, резким изменением температуры и т.д. Данные работы составили одно из направлений исследований природы наследственности. Другое не менее важное направление, связанное с выяснением природы самого гена, развивалось под руководством американского генетика Т. Моргана (1866—1945). К настоящему времени многие вопросы о природе гена и генетической информации уже выяснены.

Искусственный и естественный отбор. Решая главный вопрос о движущих силах развития, Дарвин подошел к тому рубежу, перед которым прежде остановился Ламарк. Однако в отличие от Ламарка он решительно исключил из рассмотрения таинственное «стремление к совершенству», обратив особое внимание на результаты деятельности человека. В самом деле, не слишком ли мы недооцениваем самих себя, когда говорим, что не способны создавать новые формы органической жизни? А как же наши культурные растения и домашние животные — разве они не созданы человеком? Остановимся на пшенице. Некогда человек бросил в землю горсть зернышек невзрачного дичка. Зернышки были мелкие, а колосья при малейшем дуновении ветра осыпались. Нелегко было собрать урожай первому земледельцу! Тысячелетия вначале бессознательного, а потом и сознательного отбора лучших зерен привели к тому, что они стали полновесными, а колос неосыпающимся. И еще десятки других свойств придали пшенице человек: увеличил количество белка в зерне, сделал ее стойкой ко многим болезням, вывел сорта, отзывчивые к удобрениям, скороспелые и т.п. Сейчас площадь посевов культурной пшеницы на земном шаре занимает свыше 200 млн. га. Однако если перестать за ней ухаживать, то через несколько лет культурные злаки погибнут. То же можно сказать о любом культурном виде растения или животного.

А если так, то следует внимательно присмотреться к тем методам, какими человек создавал новые сорта растений и породы скота. Дарвин часто встречался со скотоводами и спрашивал, как они создают и сохраняют свои стада. И ответ слышал почти всегда один: «Мы оставляем на племя лучших животных». Вот и все! Ларчик открывался на удивление просто. Скотоводы не подозревали, что, забывая слабых и низкопро-



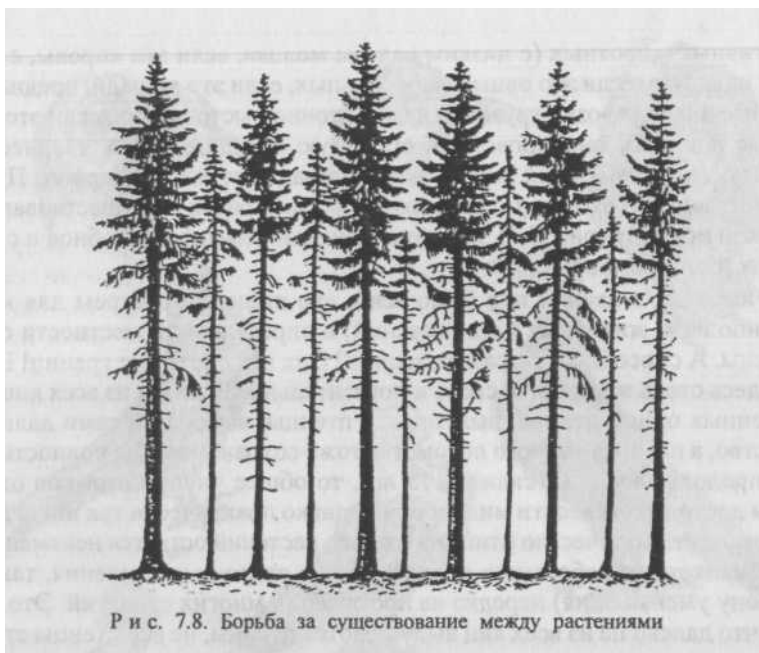
Р и с. 7.7. Разновидности домашних голубей

дуктивных животных (с низким надоем молока, если это коровы, с худшей шерстью, если это овцы; слабосильных, если это лошади, предназначенные для перевозки грузов, и недостаточно быстроногих, если это скаковые лошади), они проводили огромную созидательную, творческую работу. *Искусственный отбор* — так назвал этот метод Дарвин. Путем искусственного отбора человек создал формы, ранее не существовавшие в дикой природе (рис. 7.7). Не происходит ли что-либо подобное и среди диких организмов?

Человеку с давних пор было ясно, что пищевые ресурсы для какого-либо вида животных (или растений) в определенной местности ограничены. А способность к размножению? Она ведь не имеет границ! Цифры здесь столь же просты, сколь и поразительны. Если бы из всех яиц, отложенных одной птицей, вылупились птенцы, выросли и сами дали потомство, а потомство этого потомства тоже сохранилось бы полностью, и так продолжалось бы, скажем, 15 лет, то общее число потомков одной пары достигло бы десяти миллионов! Однако практически так никогда не происходит. Количество птиц, животных, растений остается неизменным (или меняется в небольших пределах как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения) нередко на протяжении многих столетий. Это значит, что далеко не из всех яиц вылупляются птенцы, не все птенцы становятся взрослыми птицами и, наконец, не все взрослые особи оставляют потомство. Кому же везет, кому выпадает счастливый жребий? Очевидно, тем, кому удастся захватить нужное количество пищи, уберечься от врагов — словом, тем, кому удастся победить в борьбе за существование.

В борьбе за существование побеждают, таким образом, лучше приспособленные к жизни, к условиям окружающей среды. Например, часть деревьев в лесу угнетена: им не хватает места под солнцем (рис. 7.8), и здесь, как и в животном мире, тоже происходит отбор. Однако отбирает здесь уже не человек, а сама природа. Именно условия природной среды ведут отбор наиболее приспособленных — *естественный отбор*, как называл это Дарвин. Вот чем объясняется целесообразность органических форм! Устройство животного или растения не потому целесообразно, что кто-то приспособил данный организм для определенной цели, а потому, что из всего многообразия форм выживали и могли оставлять потомство особи, лучше других приспособленные к данным условиям!

Два молодых русских ученых, А.О. Ковалевский (1840—1901) и И.И. Мечников (1845—1916), взяв на вооружение эволюционную теорию, создавали новую науку — сравнительную эволюционную эмбриологию (от гр. *embryon* — зародыш). Ковалевский при этом открыл переходные формы между позвоночными и беспозвоночными, заполнив тем самым наиболее важный пробел в общей системе развития животного царства.



Целенаправленность и естественный отбор. Созданные человеком устройства и машины (например, управляемая ракета, персональный компьютер) доказывают, что и неживые системы способны к целенаправленному действию. Однако для их создания необходим осознающий поставленную цель конструктор. Поэтому возникает вопрос: не нужен ли был подобного рода конструктор при создании живой системы? Один из возможных ответов на этот извечный вопрос содержится в идее Дарвина и Уоллеса, суть которой в том, что живые организмы могут самосовершенствоваться — эволюционировать в сторону все большей адаптации, т.е. приспособленности к среде обитания. Оба ученых предположили наличие механизма естественного отбора. Живые существа способны изменяться (мутировать) случайным образом, и такие мутации наследуются. Если мутации оказываются полезными для выживания, то их доля в последующих поколениях будет возрастать. В результате происходит эволюция популяций в направлении большей адаптации к окружающей среде.

Для формирования, например, таких сложных органов, как глаз, требуется множество согласованных между собой мутаций. Их одновременное возникновение крайне маловероятно, поэтому естественно предположить, что эволюция идет путем накопления малых сдвигов. Все промежуточные стадии в эволюции органа должны быть функционально полезны-

ми и приводить к его постепенному совершенствованию. Даже с учетом всевозможных ограничений в результате естественного отбора могут возникнуть удивительно сложные структуры.

Одна из особенностей естественного отбора состоит в том, что мутации, благоприятные или неблагоприятные для организма, возникают случайно. Изменение какого-либо адаптивного признака — результат единичной мутации: случившись, она попадает под естественный отбор. Однако против такого представления может быть выдвинуто одно весьма серьезное возражение, которое удобно пояснить на примере эволюции глаза. Вероятность одновременного возникновения ряда мутаций, приводящих к образованию сетчатки (слоя светочувствительных клеток), хрусталика и т.д., ничтожно мала. Представить себе, что такие одновременные изменения могут произойти в результате случайных мутаций — все равно что бросить в коробку полный набор часовых деталей, встряхнуть их и ожидать, что они сами сложатся в целые часы. Если мутации произойдут не одновременно и в результате не будет хватать хотя бы одного компонента глаза, то такой глаз окажется бесполезным, и отбор по всем прочим мутациям будет невозможен.

Сложные биологические структуры могут создаваться в результате естественного отбора, если в принципе их можно получить при постоянном усложнении и совершенствовании так, чтобы каждый новый этап давал какое-то новое положительное качество. Некоторые адаптации настолько совершенны, что трудно поверить в то, что они могли появиться в результате накопления простых изменений к лучшему. Поверить, допустим, можно, но тогда возникает вполне логичный вопрос: чем же такое представление отличается оттого, в котором отстаивается роль Творца? Ведь оба представления в данном случае основаны на вере. Кроме того, в природе существуют адаптации, которые невозможно объяснить естественным отбором. Например, физические и химические свойства веществ и фундаментальные постоянные как будто специально подобраны так, чтобы могла возникнуть жизнь. Такое утверждение иногда называют приспособленностью окружающей среды. Имеется и другая его формулировка:

если бы фундаментальные постоянные были чуть-чуть иными, то жизнь была бы невозможна.

Этот принцип, распространенный на развитие Вселенной, носит название *тонкой подстройки Вселенной*.

Геологические эры и эволюция жизни. Под влиянием эволюционной идеи и геологам пришлось пересмотреть свои представления об истории нашей планеты. Органический мир развивался в течение миллиардов лет вместе с той средой, в которой ему приходилось существовать, т.е.

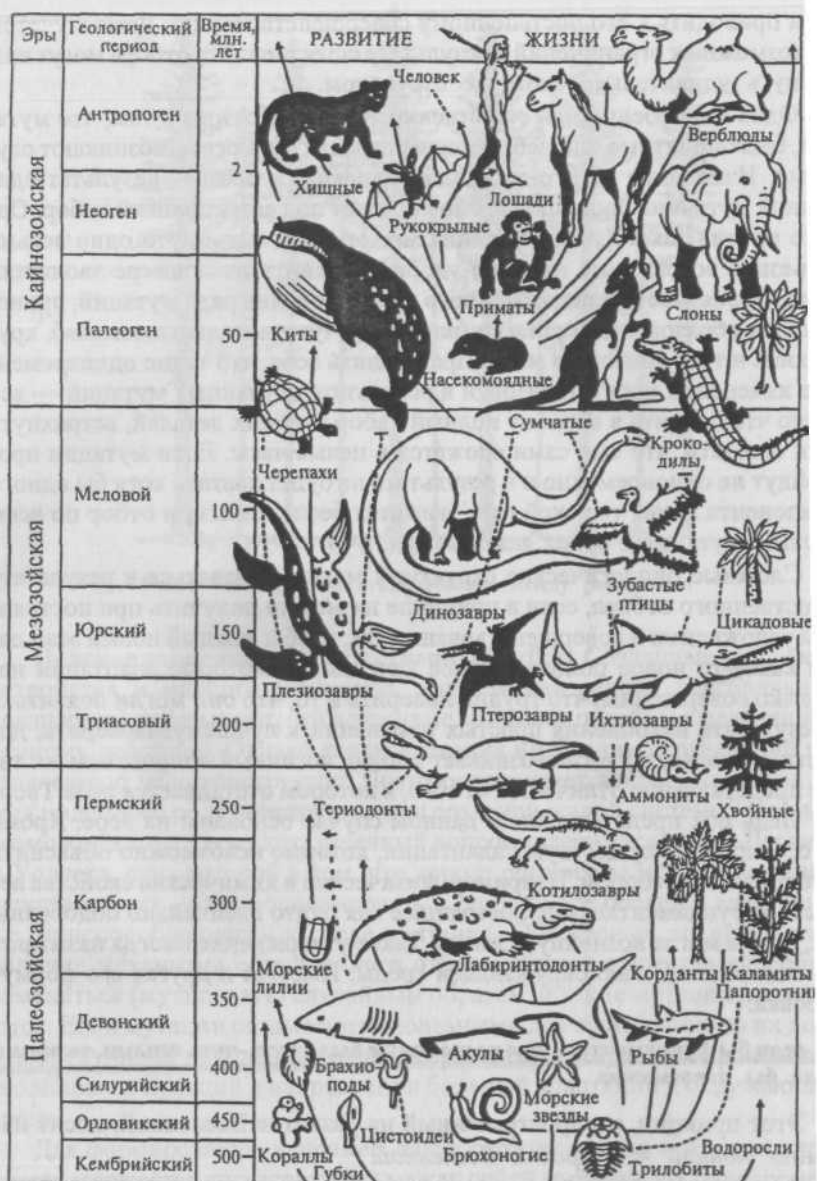


Рис. 7.9. Эволюция жизни на Земле

вместе с Землей. Поэтому эволюцию жизни невозможно понять без эволюции Земли, и наоборот. Брат А.О. Ковалевского Владимир Ковалевский (1842—1883), вооружившись эволюционной идеей, основал *палеонтологию* — науку об ископаемых организмах.

Первые следы органических остатков растительности обнаружены уже в древнейших отложениях докембрийского периода, сформировавшихся 3,5 — 4 млрд. лет назад. Предполагается, что в этот период зародилась жизнь, возникла кислородная атмосфера. О растительности раннего докембрия свидетельствуют остатки водорослей и органический углерод в карбонатных отложениях. Гораздо позднее — 2 — 2,5 млрд. лет назад появились следы жизнедеятельности животных.

В *палеозойскую эру* (продолжительностью около 340 млн. лет) растительный и животный мир вступил в новую фазу развития (рис. 7.9). Образовались большие пространства суши, на которой появились наземные растения. Особенно бурно развивались папоротники: они образовали гигантские дремучие леса. Из позвоночных появились рыбы, земноводные, пресмыкающиеся.

Животный и растительный мир достиг более высокого уровня развития в *мезозойскую эру*, начавшуюся около 240 млн. лет назад и продолжавшуюся примерно 170 млн. лет. Тогда появились первые пресмыкающиеся крупных размеров: динозавры, птерозавры и др., а также многочисленные насекомые, птицы и млекопитающие. Произошло обновление флоры, сформировались торфяные залежи.

Около 65 млн. лет назад наступила *кайнозойская эра*. Многие виды млекопитающих и птиц продолжали развиваться. В растительном мире стали преобладать цветковые. Живая природа обогатилась новыми видами животных и растений. Некоторые из них существуют и в настоящее время.

Последний период кайнозойской эры — четвертичный, или *антропоген* — продолжается поныне. Его длительность оценивается от 700 тыс. лет до 2,5—3,5 млн. лет. В течение антропогена рельеф, климат, растительность и животный мир приняли современный облик. С антропогеном связывают становление и развитие человека.

Люди стали выращивать культурные растения и домашних животных, т.е. своим трудом преобразовывать живую природу. Особое внимание уделялось выбору лучших сортов культурных растений и лучших пород животных — их селекции. Селекция растений поставлена на естественно-научную основу только в прошлом столетии благодаря трудам выдающегося русского ученого Н.И. Вавилова (1887—1943), разработавшего *учение о происхождении культурных растений*.

Эволюция всего живого продолжается и в настоящее время. Возрастающая активность человека и его крупномасштабное вторжение в при-

родные процессы порождают новые проблемы, которые можно решить лишь при условии, что сам человек возьмет на себя заботу о сохранении и развитии *биосферы*. Будущее биосферы — это *ноосфера*, т.е. сфера разума, и только в ней человек сумеет направить эволюцию всего живого в такое русло, в котором наша планета станет еще прекраснее и богаче.

7.8. РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР

Разновидности живых организмов. Со времен Аристотеля мир живых существ делится на два царства — царство животных и царство растений. К *животным* обычно относят живые существа, питающиеся готовыми *органическими соединениями*, синтезируемыми растениями или животными. В зависимости от уровня организации различают две основные группы животных. Первая группа объединяет простейшие, или *одноклеточные организмы* (например, жгутиковые, инфузории и т.п.), вторая — *многоклеточные* (все остальные). В ходе эволюции жизни у животных возникли двигательная, пищеварительная, дыхательная, кровеносная, нервная и другие системы, а также сформировались органы чувств.

Большинство видов растений получают необходимые для жизни вещества с помощью корневой системы и в результате фотосинтеза. Растения в отличие от животных, как правило, неподвижны. Поскольку содержание необходимых для жизни веществ на том или ином участке ограничено, растения обычно расширяют контакт со средой. Например, корневая система и крона деревьев растут, и они ветвятся на протяжении всей жизни. Животные, отыскивая пищу, меняют место своего обитания. Размеры живых организмов увеличиваются лишь до предела, характерного для данного вида.

Различия между животными и растениями проявляются на клеточном уровне. Основные структурные различия между животными и растительными клетками немногочисленны. Во-первых, животные клетки в отличие от растительных (исключая низшие растения) содержат небольшие тельца — центриоли, расположенные в цитоплазме. Во-вторых, клетки растений имеют в своей цитоплазме белковые образования — пластиды, которых нет у животных. И в-третьих, клетки растений обладают клеточной стенкой, благодаря которой они сохраняют свою форму. Животные клетки располагают лишь тонкой плазматической мембраной и поэтому способны двигаться и менять форму.

Все живые организмы, т.е. растения и животные, характеризуются вполне определенными размерами и формой, обменом веществ, подвижностью, раздражимостью, ростом, размножением и приспособляемостью. Определить же, какие живые существа относятся к растениям, а ка-

кие к животным, в ряде случаев не так просто. Часто, наблюдая различные картины живой природы, мы не задумываемся о различии ее форм. Конечно, знакомые большинству людей такие представители животного мира, как домашние животные, а растительного — различные виды деревьев, кустарников и трав, не вызывают затруднений при определении их принадлежности к животному или растительному миру. Однако в природе существует ряд организмов, занимающих промежуточное положение. Например, простейшая одноклеточная эвглена зеленая. Она двигается как животное, а питается как растение. Ее можно считать промежуточным, как бы переходным, звеном между растениями и животными.

Существует также ряд растений, которые по образу питания похожи на животных. К ним относятся грибы, растущие на богатой перегноем (разлагающимся органическим веществом) почве, растения-паразиты, сосущие соки из других растений (например, повилика), насекомоядные растения (мухоловка, росянка), питающиеся разного рода насекомыми.

Первую классификацию растений и животных осуществил шведский естествоиспытатель Карл Линней (1707—1778). В качестве основной системной единицы он выбрал *вид* и описал около 1500 видов растений. К настоящему времени классифицировано множество видов растений и животных, и с течением времени их число увеличивается — обнаруживаются новые виды. Так, в 40-х годах XX в. во время кругосветного плавания у берегов Мексики удалось выловить десять удивительных улиткообразных существ — *неопилин*. Они оказались тем звеном, которого не хватало в классификации моллюсков. Считалось, что неопилины вымерли 350 млн. лет назад — задолго до динозавров. Второе звено — *лингула*, животное с раковиной, — обнаружено у берегов Японии. Несомненно, ученым предстоит сделать еще немало подобных открытий.

Особенности растительного и животного мира. Некоторые растения и животные отличаются удивительными свойствами. Например, самое большое дерево в мире — *акация гальпини* (обезьянья колючка) достигает 122 м высоты и 44 м в периметре у основания. Такие великаны росли по берегам реки Мегалаквини в Южной Африке. Они погибли в результате пожаров и засухи в конце XIX в. Высота сохранившихся до наших дней подобных акаций не превышает 25 м. Гигантские размеры имеют австралийские эвкалипты — их высота более 100 м. Один из путешественников описал увиденный им в 1794 г. в Сенегале баобаб со стволом диаметром до 9 м. Возраст этого гиганта — 5150 лет.

Гигантскими бывают не только деревья. В 1818 г. ботаник Жозеф Арнольди, путешествуя по сырым, не исследованным ранее лесам острова Суматра, случайно наткнулся на росший у корней дерева громадный (диаметром более метра) ярко-красный цветок. Он не имел ни стебля, ни листьев. Казалось, цветок вырос прямо из корня дерева. Пять мясистых

лепестков, покрытых белыми бородавками, окружали толстое кольцо с центральной впадиной со множеством тычинок и пестиков. Цветок издавал ужасное зловоние. Преодолевая отвращение, ученый в течение нескольких дней наблюдал за необычным растением. Но свои наблюдения закончить не успел: через две недели Арнольди умер от желтой лихорадки. Позже стало известно, что громадный цветок, раффлезия Арнольди, названный в честь ученого, является паразитом, сосущим соки из корней дерева.

Природой создано множество прекрасных растений с удивительными свойствами. Про некоторые необычные и загадочные растения слагались легенды и мифы. В одном из древнегреческих мифов говорится, что трава аконит выросла из пены, падавшей изо рта стража подземного царства пса Цербера, когда Гераклес тащил его из бездны. Аконит известен в народе как борец и назывался в старину царь-травой. Растет он в смешанных лесах. В соке его содержится яд аконитин. Секрет аконита — химический состав его сока — известен современной медицине, а небольшие дозы аконитина используются сегодня в качестве лекарства.

Весьма интересна и легенда о фламинго — прекрасном представителе животного мира. В далекие времена фламинго, сжалившись над людьми, умирающими в неурожайный год от голода, выклевывал из своего тела кусочки мяса и кормил несчастных. Кровь текла по перьям, окрашивая их в розовый цвет. А чтобы потомки тех, кто был спасен этой птицей не забывали об этом, оперение фламинго всегда будет иметь такой оттенок.

В природе встречаются и другие не менее удивительные представители животного мира. Например, удивителен и необыкновенен по-своему хамелеон — один из видов древесных ящериц с длинным и цепким хвостом. Оба его глаза в своих движениях независимы друг от друга. Один может смотреть вверх, а другой в то же время вниз или вбок, или быстро вращаться. Такая подвижность глаз, не свойственная больше никому из пресмыкающихся, позволяет одновременно, не сходя с места, следить за жертвой и отыскивать лазейку среди ветвей. Пищу хамелеон добывает с помощью длинного языка. Но самое поразительное у этого существа — быстрая смена кожной окраски, которая помогает ему стать совершенно незаметным. Цвет кожи регулируется центральной нервной системой. Импульсы из мозга поступают в спинной мозг, оттуда в кожу и вызывают смену ее окраски.

Рассказ об особенностях и диковинках растительного и животного мира можно было бы продолжить. Но каким же образом взаимосвязано все живое — и «диковинное», и «обыкновенное»?

Адаптация живых организмов. По мере того как мы знакомимся с жизнью ныне существующих видов, становится ясно, что каждый вид зависит еще и от других живых существ, и от тех условий, в которых он обитает, т. е. от многих сложных взаимосвязей, географических особен-

ностей, расположения материков и т. д. Закономерности взаимоотношений живых существ с окружающей средой изучает *экология*.

Все организмы, существующие на Земле, приспособились к определенному атмосферному давлению. С помощью шаров-зондов удалось обнаружить споры бактерий и плесневых грибов на высоте 33 км, где давление сравнительно низкое. Бактерии живут даже в радиоактивных урановых рудах, в сероводородной среде и в таком ядовитом веществе, как концентрированный раствор хлористой сулемы. Они обнаружены и на глубине 4 тыс. м — в нефтеносных слоях, и в горячих источниках, богатых борной кислотой. Живые организмы существуют и при гигантских давлениях — на глубине более 10 км, и в холоде вечных льдов Арктики и Антарктики... И в знойной, казалось бы, совсем безжизненной Сахаре, где влажность достигает всего 0,5 %, существуют 98 видов бактерий, 28 видов грибов и 84 вида водорослей. Живые существа могут иногда долгое время обходиться без воды. Обитающий в Северной Нигерии комар откладывает яйца в мельчайшие щели скал, заполненные водой. Когда маленькие лужицы высыхают, личинки комара приостанавливают свое развитие. Но стоит пройти новому дождю, и они как ни в чем не бывало оживают вновь. Дрожжи и несколько видов бактерий способны существовать даже в бескислородной среде. Личинки комара хирономуса живут и развиваются в воде, содержащей в тысячу раз меньше кислорода, чем обычный воздух. В воде некоторых водоемов бывает в 2 тыс. раз меньше кислорода, чем в воздухе, но и там есть жизнь.

Стремление обитать в одних и тех же климатических условиях приводит к миграции многих птиц. Например, полет аистов из европейской деревни в Африку длится около 20 дней. В день они пролетают в среднем 350 км со скоростью 60 км/ч. На пути встречается множество препятствий, например, Пиренеи высотой более 2 км, моря и пустыни, которые приходится преодолевать в течение трех дней. Даже такой горный барьер, как Гималаи высотой более 6 км, где ощущается нехватка кислорода и необычно холодно, не останавливает журавлей и диких гусей, предпочитающих зимовать в теплых местах. Невольно вспоминаются строки выдающегося русского поэта М.В. Исаковского (1900—1973): «Летят перелетные птицы ушедшее лето искать».

Все живые существа обладают колоссальным биотическим потенциалом, иначе говоря, способны размножаться с такой скоростью, что, если бы их размножению ничто не препятствовало, они наводнили бы собой всю биосферу. Что же противодействует такому *перенаселению*? Почему, несмотря на удивительную приспособленность к неблагоприятным условиям, живые организмы все-таки гибнут? Голод, несчастные случаи, стихийные бедствия, болезни, уничтожение одних видов другими — все вместе взятые причины такого рода называют *сопротивлением среды*. Каждый вид должен был выработать такие качества, которые позволяли бы ему преодолевать сопротивление среды. На протяжении миллионов

или даже миллиардов лет развивалась *адаптация* — приспособляемость к окружающим условиям, или та знаменитая «целесообразность», которая поражает воображение и кажется порой сверхъестественной. Каждая из адаптаций появилась в результате того, что среда постоянно отсеивает неблагоприятные наследственные изменения, появляющиеся у всех без исключения видов растений и животных. Действие естественного отбора не прекращается ни на минуту — выживают только наиболее приспособленные.

Экологи изучают различные типы приспособляемости, и уже выявлены некоторые закономерности, помогающие понять это удивительное свойство всего живого. Известны три основных типа адаптаций: структурные (изменения окраски, строения тела, отдельных органов и т.п.), физиологические и поведенческие.

Структурной, например, является приспособляемость, возникшая за короткий срок (несколько десятилетий) у бабочки березовой пяденицы в Англии. До 1850 г. в стране были известны только светлые березовые пяденицы — под цвет лишайников, покрывающих стволы деревьев. После того как лишайники основательно прокоптились фабричным дымом, светлая пяденица стала вытесняться темной, менее заметной для ее врагов.

Физиологические адаптации внешне незаметны, но они обеспечивают такую же приспособляемость, что и структурные. Удивительно, например, строение черепа маленького зверька — двуногой мыши (дипадемус), обитающей в Мексике. В черепе дипадемуса находятся две большие слуховые камеры, превосходящие по своим размерам полость, заполненную мозгом. Звуковые колебания усиливаются в камерах-резонаторах, и зверек может различать звуки частотой всего в 2 Гц (человеческое ухо воспринимает звуки от 16 до 20 000 Гц). Идеальный слух и быстрые ноги позволяют дипадемусу успешно избегать нападений ночных птиц и змей.

Поведенческую адаптацию можно пояснить на примере приспособляемости мотылька с полосатыми крыльями, который весь день сидит неподвижно на полосатых листьях лилии. Полосатые крылья — структурная адаптация, а выбор наиболее безопасного положения на листьях — это уже адаптация поведенческая: мотылек всегда садится так, чтобы полоски на его крыльях были параллельны полоскам на листе, тогда он почти незаметен.

Взаимозависимость живых организмов. Группа организмов, относящаяся к одному виду, длительно занимающая определенное пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений, называется *популяцией*. Популяции входят в состав *биоценозов* — совокупностей растительных и животных организмов, населяющих данный участок среды обитания, например биоценоз озера, леса и т.д.

Одна из важнейших задач изучения живой материи — выяснить, почему те или иные растения и животные образуют биоценоз, каково их

влияние друг на друга и каким образом человек может регулировать их взаимоотношения в собственных интересах. И хотя на первый взгляд жизнь в сообществах кажется недоступной пониманию, многие ее закономерности удалось выяснить. Оказалось, что все поразительно разнообразие живых существ в сообществах, утонченность их адаптации и удивительно сложное поведение в конечном счете сводятся к получению каждым организмом своей доли энергии из пищи, поток которой направлен от одного члена сообщества к другому. Каналы, по которым через сообщества постоянно протекает энергия, называются *цепями питания*. Каждое звено цепи — своего рода трансформатор, использующий некоторую часть энергии, первоначально накопленной растениями для своего существования и размножения, и передающий ее следующему звену.

Сложнейшая цепь взаимных зависимостей образует устойчивую систему, в которой происходит круговорот веществ между живыми и неживыми ее частями. Озеро, лесной массив, поле, даже аквариум с тропическими рыбами, зелеными водорослями и моллюсками — все это *экологические системы (экосистемы)*. Классический пример экосистемы — озеро или пруд. Живые его элементы (к неживым относят воду с растворенными в ней кислородом, углекислым газом, неорганическими солями и т.п.) можно разделить на группы в зависимости от их участия в поддержании устойчивости экосистемы. Первая группа — растения, синтезирующие органические соединения из простых неорганических веществ при поглощении энергии Солнца. Вторая группа — организмы-потребители: насекомые, ракообразные, рыбы и т.д. Среди них так называемые первичные потребители, которые питаются растениями, и вторичные — плотоядные, питающиеся первичными потребителями. Наконец, третья группа организмов — бактерии и грибы, разлагающие органические соединения, останки умерших организмов до простых неорганических веществ, используемых потом зелеными растениями. Так в каждой экосистеме совершается круговорот веществ.

В природе взаимоотношения различных видов животных, растений крайне многообразны. Бывает так, что одни виды помогают другим (например, на панцирях многих крабов обитают кораллы или актинии, помогающие крабам маскироваться). Простейшие жгутиковые, живущие в кишечнике термитов, выделяют фермент, без которого термиты не могли бы нормально переваривать древесину и расщеплять ее до Сахаров. Некоторые виды птиц, например колибри, пчелы и многие другие насекомые, добывая нектар, опыляют цветки растений, в том числе и саррацению желтую. Колибри — самая маленькая птица (масса ее — 1,6—20 г) с красивым, ярким оперением — обладает редкой способностью зависать в воздухе в неподвижном положении, в котором она с помощью необычно длинного клюва проникает глубоко внутрь цветка и извлекает нектар.

Удивителен по-своему и цветок саррацения. Он относится к довольно редкому роду насекомоядных многолетних трав. На дне кувшинообразных длинных листьев саррацении скапливается секреторная жидкость, в которой гибнут, а затем перевариваются попавшие туда насекомые.

Опыляют растения чаще всего пчелы, шмели и другие насекомые. Пчелы способны хорошо различать цвета в фиолетовой области спектра. Поэтому даже на большом расстоянии они могут увидеть весьма скромные цветки с фиолетовыми лепестками и приблизиться к ним, чтобы полакомиться нектаром.

Однако далеко не все взаимоотношения между различными видами живого мира можно назвать добрососедскими. Они приобретают диаметрально противоположный характер, когда, например, плесневые грибы подавляют рост бактерий, хищник уничтожает жертву, а паразит губит хозяина. Однако и они не всегда вредны для вида в целом: под влиянием естественного отбора в природе устанавливается необходимое *равновесие*. А если такое равновесие искусственно нарушается, то это приводит к поистине поразительным результатам.

Раньше к некоторым видам животных или растений было принято применять термин «вредный» или «полезный»: сорняк на поле, где растет пшеница, — «вредный»; кошка, уничтожающая мышей, — «полезная» и т.п. Американский философ Эмерсон на вопрос «Что такое сорняк?» ответил: «Сорняк — растение, достоинства которого пока еще не открыты». Сейчас ни у кого не вызывает сомнений, что для нормального существования сообществ нужны различные их звенья, независимо от того, вредны они или полезны для человека. На северном склоне Большого Каньона в Колорадо (США) уничтожили волков, для того чтобы увеличить поголовье оленей. Олени беспрепятственно размножались, и скоро их стадо возросло до 100 тыс. голов. Пищи для такого количества животных оказалось недостаточно, и олени стали гибнуть от голода. В конце концов их поголовье уменьшилось в 10 раз по сравнению с первоначальным. При выяснении причин гибели животных оказалось, что, когда в этом районе существовали волки, среди оленей поддерживалось устойчивое равновесие, при котором их число соответствовало запасам пищи. Что-то подобное произошло в Китае после массового уничтожения воробьев.

Большинство сообществ непрерывно меняется — и от сезона к сезону, и изо дня в день, и даже каждую минуту. Сообщество может состоять в основном из животных или, наоборот, из растений. Общую картину жизни сообщества создают несколько наиболее крупных, многочисленных или наиболее активных видов. Изменения, происходящие с сообществом на любой стадии его развития, затрагивают большинство входящих в него организмов. Появление новых растений или животных сопровож-

дается изменениями внешней среды, которые, как правило, благоприятны для новых видов и неблагоприятны для старожилов. Постепенно перестройка в биоценозе замедляется, и он достигает равновесия на определенное время.

Даже коралловый риф — один из наиболее стабильных биоценозов — и тот подвержен значительным изменениям. При каждом продолжительном поднятии или понижении уровня моря, при каждом медленном перемещении земной коры сам коралл, являющийся основанием гигантского биоценоза рифа, может полностью погибнуть. Поэтому точнее говорить не об общем равновесии в природе, а о великом множестве равновесий в мире живых существ. Олицетворением совокупности всех равновесий в живой природе могли бы быть не весы, покоящиеся на точке опоры, а скорее помещение, полное часов всех сортов и размеров, маятники которых непрерывно меняют амплитуду колебаний — из года в год и от минуты к минуте. И тем не менее все часы, несмотря на сильное воздействие извне, показывают примерно одинаковое время, а амплитуда колебаний их маятников меняется лишь в строго ограниченных пределах. Изменчивость, а не неизменность — вот ключ к пониманию мира живых существ и вот что делает нашу небольшую планету под Солнцем столь привлекательной для жизни.

Плодотворное исследование экологических закономерностей требует привлечения ученых различных специальностей. Даже самый простой пруд настолько сложен как экосистема, что для понимания всех происходящих в нем процессов необходимо участие ботаников, ихтиологов, гидрологов, гидрофизиков, энтомологов и т.д. Чтобы взглянуть на изучаемый пруд как на единое целое (а это иногда бывает необходимо из чисто практических интересов, не говоря уже о теоретических), приходится обобщать исследования ученых разных отраслей естествознания.

Как известно, окружающий нас мир поддается количественному описанию. Перефразируя известное изречение И.М. Сеченова, можно сказать, что все — от блеска дальних звезд, шума океанского прибоя и полета пчелы до первого крика ребенка, вдохновенного танца балерины и творческой мечты ученого — можно описать количественно. Конечно, от этого «можно» до реального «описано» путь долгий и трудный, но вполне преодолимый современной научной и технической мыслью.

Особенно сложны для математического описания живые организмы и их системы, ибо они ни на секунду не остаются в покое, а все время меняют свое состояние. Однажды, когда группа ученых решала вопрос о наиболее рациональном использовании одного из озер (предлагалось использовать его или для разведения рыбы, или для водоснабжения близлежащего поселка, или предоставить озеро в распоряжение туристов и т.п.), было решено обратиться «за советом» к ЭВМ. Машина, суммировав все

аргументы специалистов, взвесив все «за» и «против», дала единственную рекомендацию: озеро не трогать, оставить его таким, как оно есть.

Человек, являясь частью природы, не должен пренебрегать биологическими законами — он должен решить проблему охраны природы на естественно-научной основе. Люди могут вырубить лес или перекрыть реку, но они не в состоянии отменить законы, управляющие жизнью на Земле, поддерживающие в равновесии многочисленные формы жизни. Поэтому сегодня, как никогда, перед людьми всего мира стоит задача не только расширять свое знание законов природы и ее эксплуатацию, но и сохранить уникальный растительный и животный мир Земли для будущих поколений.

7.9. ЧЕЛОВЕК — ФЕНОМЕН ПРИРОДЫ

Физиологические особенности человека. *Физиология* — наука о жизнедеятельности целостного организма и его отдельных частей, клеток, органов, функциональных систем. Это весьма разветвленная наука, охватывающая многие проблемы, связанные с механизмами различных функций живого организма (ростом, размножением, дыханием и др.), с их взаимодействием, регуляцией и приспособлением к внешней среде, происхождением и становлением в процессе эволюции. Одна из основных задач физиологии животных и человека — изучение регулирующей и интегрирующей роли нервной системы в организме. В решение этой задачи существенный вклад внесли выдающиеся российские физиологи И.П. Павлов (1849—1936), создавший учение о высшей нервной деятельности (он удостоен Нобелевской премии 1904 г.), и И.М. Сеченов (1829—1905), обосновавший в классическом труде «Рефлексы головного мозга» (1866) рефлекторную природу сознательной и бессознательной деятельности. В частности, И.П. Павлов разработал метод условных рефлексов и установил, что в основе психической деятельности лежат физиологические процессы, происходящие в коре головного мозга и определяющие основные особенности человека как феномена природы.

С биологической точки зрения появление человека разумного может казаться вполне ординарным событием. Однако человек — носитель разума, мысли, это особый феномен природы. В процессе развития живых систем сформировался мозг — материальная основа разума. Элементы разумного поведения проявляют многие высшие животные и некоторые птицы. Но полноценное проявление разума в биосфере присуще только человеку, так как лишь в его социальном сообществе сформировалась, а затем развивалась коллективная память, названная В.И. Вернадским научной мыслью.

Научная мысль — это созданный человеком разумным на определенной стадии его развития независимый от отдельной особи коллективный аппарат сбора, накопления, обобщения и хранения знания. И только человек в состоянии использовать данный аппарат для решения своих практических проблем. Научная мысль в сочетании с трудовой деятельностью человека стала великой геологической силой, способной преобразовать биосферу. «Научная мысль как проявление живого вещества по существу не может быть обратимым явлением — она может остановиться в своем движении, но, раз создавшись и проявившись в эволюции биосферы, она несет в себе возможность неограниченного развития в ходе времени», — так писал В.И. Вернадский.

Характерные особенности и специфика человека, отличающие его от других высших животных, закреплены в материальном носителе разума — мозге. Чем же мозг человека отличается, например, от мозга похожих на него приматов? Каким бы это ни показалось странным, но сравнительно недавно специалисты не видели принципиальных различий в строении их мозга. Только на современном уровне понимания строения и специфики работы мозга, достигнутом в последние 30—40 лет, удалось выяснить, что простейшим функциональным элементом мозга является *структурный ансамбль нервных клеток — нейронов* со сложными и фиксированными разветвлениями взаимосвязей. Один ансамбль обычно управляет вполне определенным процессом или одной функцией организма.

Эволюция мозга, его усложнение происходили не столько за счет роста числа нейронов, сколько за счет организации и упорядоченности как отдельных структурных ансамблей, так и центров, объединяющих отдельные функции в сложные поведенческие реакции. Структурные ансамбли разветвляются в форме вертикальных колонок, включающих клетки древних слоев мозга, расположенных в его нижних пластах, и клетки более поздних поверхностных слоев. В результате усложнения связей и увеличения их числа происходят и качественные изменения структурных ансамблей.

Структурные ансамбли мозга человека и приматов, определяющие такие функции, как зрение, слух и двигательные реакции тела, мало различаются между собой. Существенные отличия выявлены в размерах и связях структурных ансамблей мозга человека, ведающих его речью и двигательными реакциями рук, особенно кистей, и определяющих способность человека к трудовой деятельности. У человека заметно выделяются лобные доли, которые, согласно сложившимся представлениям, осуществляют интеграцию различных функций мозга в целенаправленные поведенческие реакции, а также участвуют в ассоциативных и обобщающих мыслительных процессах. У человека относительно большая

площадь лобных долей мозга — около 25 %, и общее число нейронов — более 10^{10} .

Несмотря на многие достижения современного естествознания, мозг человека остается одним из самых загадочных объектов исследования. Тем не менее к настоящему времени удалось определить функции нейромедиаторов, с помощью которых передаются биохимические сигналы от одного нейрона к другому, и выяснить механизмы действия кратковременной и долговременной памяти живых организмов. За эту работу известные ученые А. Карлссон (р. 1923), П. Грингард (р. 1925) и Э. Кэндел (р. 1929) удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за 2000 г.

Мозг как единая система обладает удивительным свойством — *памятью*. Память — это основной ориентир человека в окружающем мире. Она придает направленность событиям, связывая настоящее с прошедшим и сегодняшнее поколение с нашими предками. Именно благодаря памяти накапливалась информация и передавалась от поколения к поколению. Следовательно, благодаря ей возникла и развивается цивилизация.

Память зависит не только от конкретных биохимических процессов в отдельных нервных клетках, но прежде всего от того, в каких именно клетках они происходят, от расположения их в том или ином отделе мозга и их связи друг с другом. Основа памяти — установление связи между воспринимаемыми образами, нервными клетками и их ансамблями, между отделами и уровнями мозга. Извлечение информации из кладовых памяти подобно игре на удивительном по своей сложности инструменте, из которого опытный исполнитель извлекает чудесные мелодии.

Именно на установлении и последующем поиске связей основана мнемотехника — система приемов, облегчающих запоминание. В трактате «Об оракуле» выдающийся римский политический деятель, оратор и писатель Цицерон (106—43 до н.э.) приписывает открытие правил запоминания поэту Симониду, жившему в V в. до н.э. Вот как это было. Знатный фесселиец Скопас устроил празднество, где Симонид должен был исполнить поэму в честь хозяина. Но Симонид включил в поэму не только хвалу хозяину, но и божественным братьям-близнецам Кастору и Полуксу. Рассердившийся хозяин заявил, что уплатит ему только половину суммы, а остальное пусть платят братья-близнецы. Через несколько минут поэту сообщили, что на улице его ждут двое молодых людей. Когда Симонид вышел, крыша зала рухнула и погребла под собой хозяина и всех гостей. Юноши, вызвавшие поэта, были воспеты им братья, они наградили его за добрые слова и наказали хозяина за его низость. Тела погибших были так изуродованы, что даже родственники не смогли опознать своих близких, чтобы подобающим образом похоронить их. Им помог Симонид. Он запомнил, в каком порядке люди сидели за столом, и по-

304

этому сумел опознать погибших. Этот случай, по словам Цицерона, подсказал Симониду принцип искусства запоминания: главное условие хорошей памяти — это способность упорядочение располагать в мыслях все то, что следует запомнить. Этот принцип позднее лег в основу театра памяти, популярного в эпоху Возрождения, и к настоящему времени стал универсальным. Не его ли мы используем сегодня при написании плана сочинений, при составлении каталога компьютерной базы данных и т.п.? Ответ очевиден: конечно же, он помогает и логично излагать мысли, и рационально использовать компьютер. Более того, по аналогичному принципу строилось классическое университетское образование, нацеленное не столько на запоминание фактов, сколько на нахождение связи между ними, на умение нахождения нужной информации и ее использование, т.е. на умение построить свой театр памяти, помогающий работать с новыми сведениями.

Отметим еще одно характерное свойство мозга. Строение ансамблей нервных клеток, их связи в мозгу программируются генетическим аппаратом. Развитость речевых и двигательных-трудоу структурных ансамблей мозга человека наследуется детьми от родителей. Однако наследуется не речь и не трудовые навыки как таковые, а лишь потенциальная возможность их последующего приобретения. Генетические возможности реализуются только при условии, что с раннего детства конкретный ребенок воспитывается и обучается в сообществе людей, в постоянном общении с ними. Сказка Киплинга о маленьком Маугли, воспитанном волками и другими благородными животными джунглей, а затем уже зрелым юношей, вновь вернувшимся в «человеческую стаю», — только красивая сказка. Редкие реальные случаи подобного рода показывают, что человеческое дитя, силой обстоятельств вырванное из человеческого общества и выжившее в джунглях, вернувшись через много лет к людям, уже никогда в полной мере не сможет овладеть речью, приобрести достаточно сложные трудовые навыки, необходимые для сознательной деятельности. Генетический потенциал ограничен во времени жесткими возрастными рамками. Если сроки пропущены, то потенциал гаснет, а человек по своему развитию остается на уровне того же примата.

В истории человечества немало примеров, показывающих, что не только отдельная личность, но и целые сообщества людей обязаны вести непрерывную работу по овладению, сохранению и приумножению того, что выделяет людей из животного мира. Малейшее ослабление усилий или, что еще хуже, сознательное пробуждение в людях низменных начал в ущерб разуму, когда, например, преследуются неблагородные политические цели, с поразительной быстротой ведут к потере культурных завоеваний, возрождению дикости и агрессивности даже в цивилизованном обществе.

Психология человека. С развитием физиологии во второй половине XIX в. возникла *психология* — наука о душе, о внутреннем мире человека. Слово «психика» в переводе с греческого означает «душа». *Психика* — система регуляторов поведения в сложной среде, возникшая в ходе биологической эволюции. В отличие от животных люди способны к преднамеренной совместной деятельности, речевому взаимодействию, использованию опыта человечества, сознательной саморегуляции, созидательной трудовой активности, познанию неявного; они имеют долгое детство и психически развиваются в течение всей жизни. Ориентация в явлениях психики — органическое звено подготовленности профессионала, условие его деловой культуры. Профессионалы различаются по частным психологическим особенностям, но сходны по общей структуре психологического склада.

Знание особенностей психики (своей и других) ориентирует человека в деле самосовершенствования и построения профессионального жизненного пути. Но освоение фактов и закономерностей психологии идет не стихийно, а путем планомерного образования, самообразования.

Психика человека обеспечивается телесными его системами и в то же время влияет на них. Длительные и тяжкие переживания, вызванные чисто социальными и моральными обстоятельствами (утрата собственного признания, идейные разногласия и т.п.), закономерно ведут к телесным недугам, заболеваниям. И наоборот, болезни тела и даже беспечное отношение к себе — путь к утратам психического статуса, не говоря уж о заболеваниях, нарушениях нервной системы, которые напрямую влияют на психику.

Существование и развитие организма в среде обеспечиваются процессами познания и исполнения системой психологических регуляторов поведения. Знания, как отображения некоторых реальностей в голове человека, есть явления психики и, в свою очередь, сами являются реальностью, необходимой для целесообразной регуляции нашей активности. Мы можем знать о том, что недоступно органам чувств, и порождать знание о том, чего нет в культуре или природе. Владение теоретическим знанием качественно улучшает практическое решение задач. Ориентироваться в психологических закономерностях возникновения и динамики знаний важно для самообразования, организации и улучшения профессиональной деятельности.

Знания о людях и о себе — специфические и важные области явлений, процессов психики. Но не все, что происходит в психике, подотчетно сознанию человека. Бессознательные процессы тоже регулируют нашу активность. Они доступны научному анализу и о них важно иметь достоверные сведения.

Человеческая деятельность характеризуется сложной динамикой. Она связана многообразными отношениями с индивидуальными свойствами личности, общественным и индивидуальным сознанием, опытом человека, его природой и культурной средой. Значение деятельности определяется тем, что психика не только в ней проявляется, но и формируется в течение жизни. О направленности (системе побуждений — идеалов, убеждений, интересов) личности, ее устойчивых отношениях к разным сторонам действительности узнают, анализируя деятельность. Ценные или нежелательные особенности личности складываются в зависимости от того, в какую деятельность включен человек. Если же мы намерены формировать личность в должном направлении, то следует позаботиться об организации его соответствующей деятельности.

Социологические аспекты. Человек как субъект отношений и сознательной деятельности представляет собой *личность*. Личность — неотъемлемая составляющая общества. Проблемы взаимоотношений личности и общества, а также закономерности массового поведения людей изучает *социология*. Попытки объяснения особенностей общественной жизни возникли еще в античные времена (Платон, Аристотель и др.). Аристотель, например, считал, что человек рождается политическим существом и несет в себе инстинктивное стремление к совместной жизни. В практике социальных отношений средневековых мыслителей (Августин, Боссюэ) преобладало божественное начало, в соответствии с которым вся история человечества носит характер борьбы царства благодати с царством зла.

Мыслители XVII—XVIII вв. рассматривали историю общества как продолжение истории природы и стремились вскрыть естественные законы общественной жизни. Такой подход связывался с развитием науки того времени, с поиском единых, универсальных законов мира. Жизнь общества уподоблялась жизни природы. Если исходным звеном в цепи природных процессов являются атомы, то подобным атомом в общественной жизни представляется человек. Как ни резко различаются между собой люди, их объединяет общая цель — стремление к самосохранению, — которая порождает страсти, составляющие своего рода пружину поступков людей. Они управляют поведением людей с такой же математической точностью, как физические силы определяют движение природных тел. Действия людей строго закономерны. Свобода в поведении человека, по образному выражению нидерландского философа Спинозы (1632—1677), равносильна свободе камня, приведенного в движение по законам механики и «воображающего», что он движется «по собственному желанию».

Французский философ-просветитель Ж. Кондорсэ (1743—1794) полагал, что в основе общественных отношений лежит безграничное совер-

шенствование знаний. «Способность человека к совершенствованию, — писал он, — действительно безгранична, рано или поздно настанет момент, когда Солнце будет освещать Землю, населенную только свободными людьми...». По его мнению, человеческий прогресс подчинен определенным общим законам, знание которых помогает предвидеть, направлять и ускорять дальнейшее развитие.

Широко известно высказывание французского философа П. Гольбаха (1723—1789): «Излишек едкости в желчи фанатика, разгоряченность крови в сердце завоевателя, дурное пищеварение у какого-нибудь монарха, прихоть какой-нибудь женщины являются достаточными причинами, чтобы заставить предпринимать войны, посылать миллионы людей на бойню, разрушать крепости, превращать в прах города, погружать народы в нищету и траур, чтобы вызывать голод и заразные болезни, и распространять отчаяние и бедствие на длинный ряд веков».

Значительный вклад в развитие социологии внес выдающийся мыслитель, немецкий философ Г. Гегель (1770—1831), создавший диалектику. Он считал, что люди творят историю не по собственному произволу, а по необходимости. В истории господствуют закономерность и порядок. История — единое целое, в котором каждая ступень лишь определенное звено. Гегель подчеркивал, что развитие общества носит поступательный характер, что в нем обнаруживается прогресс в сознании свободы, а не просто изменение. По его мнению, *развитие является движением вперед от несовершенного к более совершенному, причем первое должно быть рассмотрено не в абстракции лишь как несовершенное, а как нечто такое, что в то же время содержит в себе свою собственную противоположность, так называемое совершенное как зародыш, как стремление.*

Открытый Гегелем закон отрицания отрицания позволил разделить проблему противоречия между поступательным движением и повторением, возвратом к старому, а глубокое понимание *диалектики количественных и качественных изменений* давало возможность понять, как новое в истории возникает из старого и как оно в свою очередь стареет и сменяется новым. Некоторые ярые сторонники материализма видели в диалектическом понимании общественных отношений идеалистический подход, противопоставляя поступательному развитию общества идею искусственного вторжения в естественный процесс развития, надеясь на успешное решение социальных проблем. Однако, как показал исторический опыт, такая идея противоестественна: она ведет к деградации общества, а вместе с ним — и личности. Диалектическое понимание развития общества нацеливает каждого человека на созидательную деятельность и кропотливый творческий труд.

Эстетическое восприятие и красота природы. В трудовой деятельности, в процессе развития общественных отношений и практики худо-



Р и с. 7.10. Беседковые птицы и построенная ими беседка

жественного творчества человек в течение длительного времени выработал ценнейшую способность эстетического отражения действительности — этой существенной и богатейшей сферы сознания, без которой при прочих равных условиях живое существо не есть собственно человек, человек культурный и эстетически воспитанный.

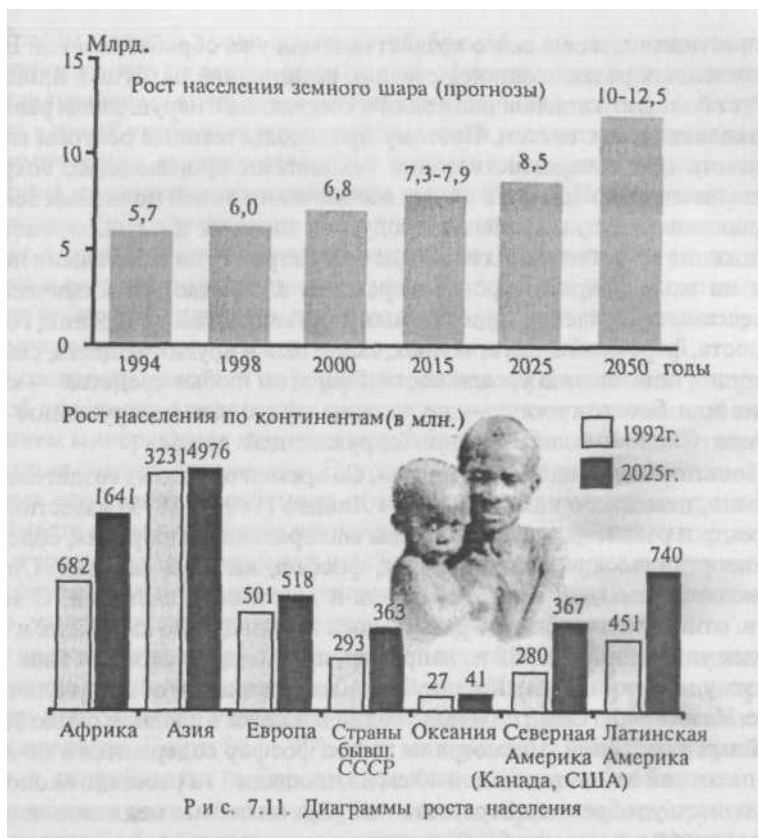
В человеке от природы заложена удивительная способность творить красоту. Он способен эстетически воспринимать волнующие своей красотой явления природы, прекрасное и безобразное, трагическое и комическое, величественное и низменное в общественной жизни. Однако можно встретить людей, в силу тех или иных обстоятельств утративших эту способность. Такие люди считают героическим поступком сделать хулиганские надписи на школьной парте, изрисовать подъезды и совершить другие недостойные поступки. Подобными действиями они противопоставляют себя окружающим людям, проявляя при этом неуважение к обществу, к достоинству человека и, следовательно, к самому себе.

Эстетическое сознание выражается множеством категорий: удовольствие, наслаждение, очарование, восторг, упоение и т.п. Какова психологическая тайна эстетических чувств и в чем заключается эстетическое восприятие, например, многоцветной радуги на небе либо волнующей картины раннего восхода Солнца? На эти вопросы пока нет однозначного ответа. Очевидно одно: только эстетически воспитанный человек может испытывать истинное наслаждение от чарующей музыки Моцарта и по-настоящему восхищаться пением соловья, багровым закатом солнца и т.п. Эстетическое воспитание начинается с рождением ребенка, который сам по себе удивительное и прекрасное создание природы и в котором заложена естественная потребность испытывать восторг и восхищение при виде всего того, что окружает нас.

Является ли человек единственно способным воспринимать и творить красоту? Ответ на этот вопрос может быть разным. Глядя на беседковых птиц (живущих в Австралии и Новой Гвинее) с их удивительно прекрасным оперением и на построенную ими беседку, украшенную раковинами, цветами и другими яркими предметами (рис. 7.10), и любясь красотой лотоса, стрекозы, муравья и т.п., можно без сомнений и с восторгом утверждать: человек безусловно способен творить прекрасное и восхищаться им, но и птицы, все живое, и сама природа способны творить не менее удивительную красоту.

7.10. ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Рост населения и обеспечение продовольствием. Одна из важнейших составляющих жизнеобеспечения человека — производство и потребление продуктов питания. История развития производства продовольствия связана с зарождением сельского хозяйства, первые признаки которого появились примерно 12 тыс. лет назад. В то время численность населения планеты составляла около 15 млн. человек. К началу нового летоисчисления насчитывалось приблизительно 250 млн. человек. К 1650 г. население удвоилось, достигнув 500 млн. Следующее удвоение (рост до



1 млрд.) произошло примерно через 200 лет (к 1850 г.). В 1999 г. численность населения Земли возросла до 6 млрд. По оценке экспертов ООН, к 2050 г. она составит более 10 млрд. человек (рис. 7.11).

Нехватка продовольствия — одна из причин преждевременной смерти людей. Так, в 1983 г. от голода умерло около 20 млн. человек — почти 0,5% населения планеты, еще примерно 500 млн. сильно пострадали от недоедания. К концу прошлого столетия число людей на грани голодной смерти превышало 650 млн. Все это говорит о том, что обеспечение населения продуктами питания — важнейшая проблема современного человечества. Она касается не только тех, кто голоден и недоедает и менее всего способен ее решить, но и в значительной степени тех, кто может предложить рациональные способы ее решения, основанные на последних естественно-научных достижениях.

Очевидно, что производство продовольствия нельзя существенно увеличить только за счет освоения новых земель. В большинстве стран

вся пригодная для сельского хозяйства земля уже обрабатывается. В густонаселенных развивающихся странах расширение пахотных площадей требует больших капиталовложений и сопряжено с нарушением равновесия экологических систем. Поэтому продовольственные ресурсы можно увеличить при совершенствовании технологии производства, сохранении питательных веществ в почве, обеспечении водой поливных земель, повышении качества хранения продуктов питания и т.п. Современные достижения естествознания и прежде всего агрохимии и биохимии позволяют на молекулярном уровне управлять сложными биохимическими процессами при участии минеральных и органических удобрений, гормонов роста, феромонов, питательных, защитных и других веществ, способствующих повышению урожайности. При этом любые средства — химические или биологические — не должны приводить к нарушению природного баланса и загрязнению окружающей среды.

Повышение плодородия почвы. Со времен одного из создателей агрохимии, немецкого химика Юстуса Либиха (1803—1873) известно, что для роста и развития растений нужны минеральные удобрения, содержащие неорганические вещества: азот, фосфор, калий и кальций. Они не взаимозаменяемы, их нельзя заменить и другими веществами. С конца XIX в. относительно быстро развивалось производство калийных и фосфорных удобрений. В 1975 г., например, произведено около 24 млн. т калийных удобрений (K_2O). К концу XX в. их ежегодный объем увеличился вдвое. На каждый гектар полевых угодий вносится в среднем около 100 кг калийных удобрений. Несмотря на то что фосфор содержится в почве (в слое пахотной земли толщиной 40 см на площади 1 га рассеяно около 20 т фосфорного удобрения в пересчете на P_2O_5), он весьма медленно попадает к растениям, и некоторые виды почв нуждаются в фосфорных удобрениях. В 1975 г. во всем мире их произведено примерно 30 млн. т.

Для повышения урожайности многих культурных растений нужны азотные удобрения. Их производство включает синтез аммиака NH_3 и основано на связывании азота воздуха. В 1917 г. была произведена первая цистерна аммиака. В 1975 г. объем мирового производства азотных удобрений составил свыше 45 млн. т, а в 2000 г. — примерно в два раза больше. С каждым килограммом азотных удобрений, внесенных на 1 га почвы, урожайность зерновых культур увеличивается на 8—11 кг, картофеля — на 90 кг, кормовых трав — на 100 кг.

Примерно с середины XX в. в поле зрения агрохимиков попали микроэлементы: бор, медь, марганец, молибден, цинк и др. Потребность в них не велика — всего несколько сотен граммов на 1 га, но без них существенно снижается урожайность. С 1970 г. налажено производство комплексных удобрений, содержащих все необходимые растениям микроэлементы.

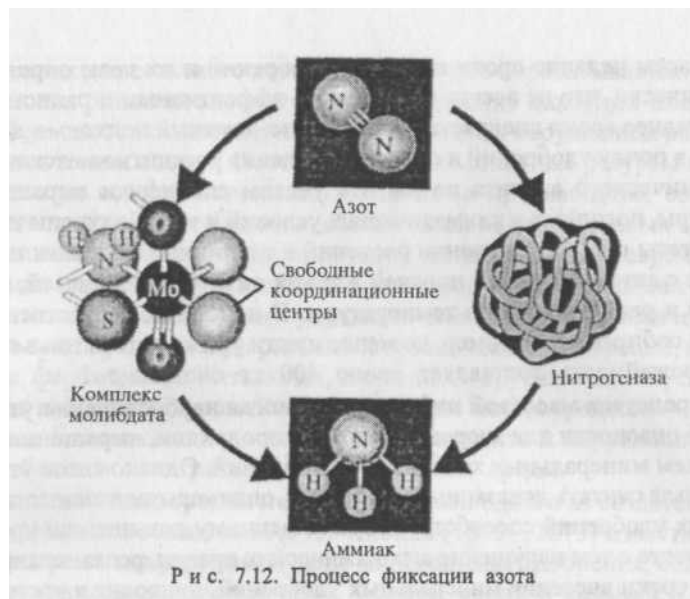
Совсем недавно сроки внесения удобрений и их дозы определялись эмпирически, что не всегда оказывалось эффективным и рациональным. В последнее время внедряется естественно-научный подход — дозы вносимых в почву удобрений и сроки их внесения рассчитываются исходя из биохимического анализа почвы и с учетом специфики выращиваемой культуры, погодных и климатических условий и т. п. Получены неплохие результаты при выращивании растений в тепличных условиях на гидропонике с автоматической подачей жидких питательных смесей, их дозировкой и регулированием температуры. В подобных искусственных условиях собирают, например, не менее шести урожаев томатов в год, причем урожайность составляет около 400 кг овощей с 1 м².

В средствах массовой информации иногда необоснованно утверждается об опасности для здоровья человека продукции, выращенной с применением минеральных химических удобрений. Однако такое утверждение нельзя считать доказанным. Напротив, оптимальное количество минеральных удобрений способствует существенному повышению урожайности. Вместе с тем нарушение агрохимических правил, регламентирующих дозы и сроки внесения минеральных удобрений, приводит к чрезмерному их накоплению в почве и попаданию в водные источники, что соответственно ухудшает плодородие почвы и загрязняет водоемы.

В настоящее время урожайность культурных растений, выращенных с применением минеральных удобрений, повышается в среднем на треть. Однако производство удобрений в различных странах колеблется в широких пределах. Почти 80 — 90% всех минеральных удобрений производится и потребляется в Европе, Японии и Северной Америке.

Фиксация азота. Аммиачные азотные удобрения синтезируются из азота воздуха и водорода при температуре 500°С и давлении 300 атм и наличии катализатора (железа в сочетании со щелочным металлом). При их производстве потребляется большое количество энергии. А это означает, что азот воздуха превращается в полезный и нужный продукт с большими затратами. Поэтому с давних времен ведется поиск более эффективных способов обогащения почвы азотом.

В процессе роста многие растения поглощают азот преимущественно из почвы, и многолетний севооборот способствует его пополнению. Вместе с тем некоторые растения сами способны превращать элементный азот воздуха в необходимые им соединения. Каков же механизм такого превращения? Наблюдения показали, что в этом процессе участвуют бактерии и водоросли, восстанавливающие атмосферный азот до аммиака. Происходит важнейший естественный процесс — *фиксация азота*. Фиксированный азот затем превращается растениями в аминокислоты, белки и другие органические соединения. Растения семейства бобовых (соя, люцерна и др.) фиксируют азот с помощью клубеньковых бактерий, жи-

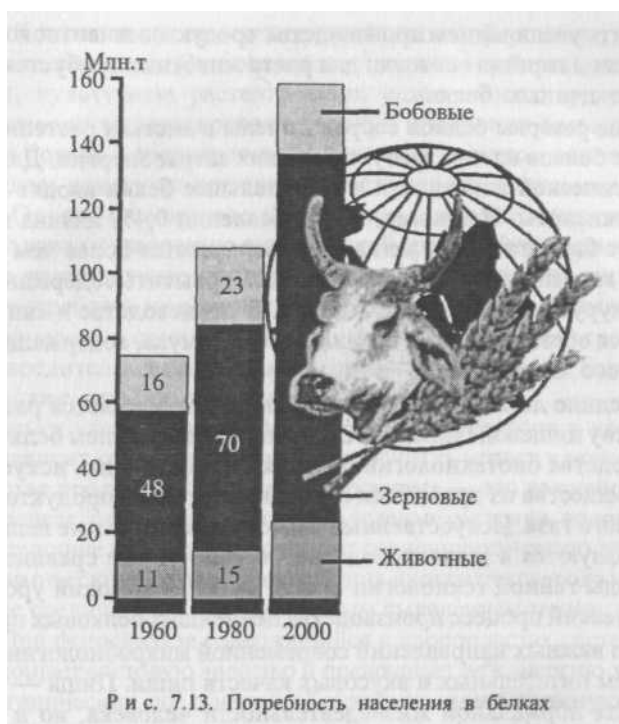


вущих на их корнях. Около 170 разновидностей небобовых растений также способны фиксировать азот. Природными фиксаторами азота являются некоторые свободно живущие бактерии и синезеленые водоросли.

В результате биохимических исследований установлено, что в фиксации азота участвует фермент, называемый нитрогеназой. Специально разработанные способы очистки и спектроскопические исследования позволили выяснить механизм фиксации азота под действием фермента нитрогеназы (рис. 7.12). Возможно, в ближайшем будущем проблема фиксации азота по принципу действия клубеньковых бактерий будет успешно решена в искусственных условиях в больших масштабах.

В настоящее время развивается еще одно важное направление исследования фиксации азота, с учетом генетической природы растений. Применение генных технологий и разработка новых методов наблюдения и контроля развития и старения растений будут способствовать более полному раскрытию механизма фиксации азота и созданию штаммов, эффективно фиксирующих азот. Весьма важная задача — распространить природную способность фиксировать азот на многие культурные растения, т.е. сделать их самоудобряющимися.

Роль белков в питании. Основу питательных веществ составляют белки, жиры и углеводы. Если содержание в пище углеводов и жиров — носителей энергии — может быть ограничено, то для белков это недопустимо: они нужны для постоянной регенерации органов и роста организма. Нехватка белков приводит к истощению организма. Необходимая для



нормальной жизнедеятельности организма человека ежедневная норма потребления белков составляет для взрослых до 1 г, а для детей 2—3 г на килограмм массы тела. Ежедневное потребление белков для взрослых — 60—100 г. Однако эти нормы, рекомендованные специалистами, не всегда выполняются. Например, если в промышленно развитых странах на душу населения в сутки приходится 85—95 г белков, то в слаборазвитых странах — 50 г. Потребность населения в белках постоянно растет (рис. 7.13). Более 60% потребляемых белков имеют растительное происхождение. Семена культурных растений: пшеницы, риса, кукурузы, сои и др. — отличаются повышенным содержанием белков (9—20 %).

Из 20 аминокислот белков, необходимых для жизнедеятельности организма человека, только 12 синтезируются самим организмом. Остальные, в том числе лизин, метионин, и др., должны поступать с пищей, причем содержание их в большинстве растительных продуктов сравнительно невысокое. В то же время по химическому составу белки животного происхождения подобны белкам организма человека, и потребность в некоторых аминокислотах легче удовлетворить за счет мясной пищи. На первый взгляд может показаться, что проблему производства белков можно

легко решить увеличением производства продуктов животноводства. Однако проблема гораздо сложнее: для роста животных требуется огромное количество ценных белков.

Большие резервы белков сосредоточены в листьях растений. Однако извлечение белков из них требует больших затрат энергии. Для повышения биологической активности в растительные белки вводят недостающие аминокислоты. Например, при добавлении 0,4% лизина к пшеничной муке ее биологическая активность повышается более чем на 50%. В результате генетической операции удалось повысить содержание лизина в белке кукурузы и пшеницы с 2 до 4%. В птицеводстве и свиноводстве применяется обогащенная метионином соевая мука, содержащая сравнительно много белков.

В последние десятилетия большое внимание уделяется разработке и производству пищевой биомассы с большим содержанием белков. Современные средства биотехнологии позволяют производить искусственные белковые вещества из древесных отходов, нефти и ее продуктов, а также из природного газа. Искусственные белковые питательные вещества широко используются в животноводстве. Разработанные сравнительно недавно методы генной технологии ставят на более высокий уровень биотехнологический процесс производства ценнейших белковых продуктов.

Одно из важных направлений современной микробиологии связано с повышением питательных и вкусовых качеств пищи. Пища — не только средство для нормальной жизнедеятельности человека, но и источник удовольствия. Однако стремление испытать удовольствие часто приводит к перееданию. По мнению специалистов, во многих развитых странах около 20% мужского и 40% женского населения едят гораздо больше, чем необходимо организму. Установлено, что нормальное потребление человеком сахара в год не должно превышать 18 кг, в то время как в некоторых странах эта цифра достигает 60 кг. Чрезмерное потребление сахара или других продуктов питания губительно влияет на здоровье человека и чаще всего приводит к ожирению. Есть надежда, что микробиологи предложат эффективные средства, позволяющие ограничивать излишнее потребление вкусной и калорийной пищи.

Перспективы увеличения продовольственных ресурсов. Традиционные способы увеличения продовольственных ресурсов основаны на совершенствовании технологии производства и хранения продуктов питания. В производственном процессе необходимо прежде всего восстанавливать состав и структуру почвы, чтобы сохранять ее плодородие. На всех стадиях производства продуктов питания и при их хранении важную роль играют естественно-научные знания, поскольку они позволяют понять природу микропроцессов в живых системах, изучить влияние на них различных веществ, способствующих увеличению продовольственных

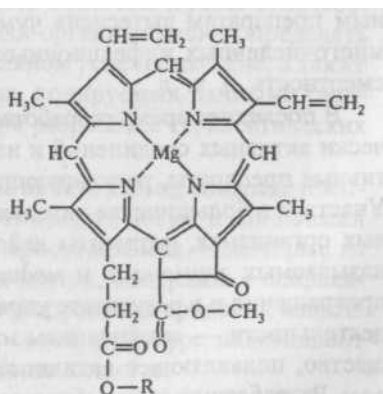
316

ресурсов. К таким веществам относятся гормоны, феромоны, защитные и питательные вещества. Они оказывают активное действие на домашних животных, культурные растения и их естественных вредителей.

В производстве сельскохозяйственной продукции весьма важна эффективная борьба с вредителями. В недавнем прошлом основное внимание уделялось поиску химических веществ для уничтожения вредных насекомых. Однако их массовое применение приводит к нарушению природного баланса и засорению окружающей среды. Многолетний опыт показал, что рациональнее контролировать воздействие вредных насекомых, а не истреблять их полностью. В результате исследования биохимических процессов в самих организмах стало возможным ограничить наносимый вредителями ущерб такими средствами, которые безопасны для природы даже при их длительном применении.

Поскольку увеличение продовольственных ресурсов в конечном результате зависит от роста растений, фотосинтез играет ключевую роль в производстве продуктов питания. *Фотосинтез* — это важнейший естественный процесс, посредством которого зеленые растения, водоросли и фотосинтезирующие бактерии используют солнечную энергию для стимулирования химических реакций превращения диоксида углерода и воды в органические соединения с одновременным выделением молекулярного кислорода. При фотосинтезе содержащийся в хлоропластах растений хлорофилл поглощает световую энергию и превращает ее в энергию химических связей органических соединений. *Хлорофилл* имеет сложную структуру циклического соединения, содержащего атом магния. Одна из разновидностей структуры хлорофилла показана на рис. 7.14.

Изучение фотосинтеза начинается с 1630 г., когда известный голландский естествоиспытатель Ян Гельмонт (1579—1644) доказал, что растения получают питательные вещества из воздуха. Проведенный ученым опыт достаточно прост. Взвесив землю в горшке, он посадил в него побег ивы. Через пять лет он взвесил землю и растение. Масса ивы оказалась в несколько раз больше первоначальной, а масса земли изменилась незначительно. Гораздо позднее, в 1771 г. английский химик Джозеф Пристли (1733—1804) сделал еще один важный вывод: благодаря растениям воздух очищается и становится пригодным для дыхания. Такой вывод следовал из поставленного им опыта с мышью, помещенной под гер-



Р и с. 7.14. Структура хлорофилла

метический колпак. Продолжительность ее жизни заметно увеличивалась, если под колпаком одновременно находилось растение. В процессе дальнейших исследований выяснилось, что растения выделяют кислород, необходимый для жизни многих организмов. Дж. Пристли известен также как ученый, впервые открывший в 1774 г. кислород.

Клетки растений можно представить в виде химических фабрик, производящих в процессе фотосинтеза углеводородные соединения, составляющие основу растений. Установлено, что энергия, необходимая для фотосинтеза, примерно на две трети обеспечивается излучением в красной и ближней инфракрасной области солнечного спектра. Кроме того, фотосинтез включает взаимодействие многих молекул хлорофилла. При этом, как предполагается, центром фотореакции являются два параллельных хлорофилловых кольца, удерживаемых на близком расстоянии друг от друга водородными связями между аминокислотными группами. Все эти сведения весьма важны для понимания сущности фотосинтеза. Воспроизведение фотосинтеза в лабораторных условиях стало бы величайшим достижением естествознания.

Фотосинтез — важнейший источник не только продовольственных ресурсов, но и энергии. В результате превращения органического растительного сырья можно получить громадное количество энергии. Благодаря фотосинтезу воздух очищается от углекислого газа, который превращается в весьма ценные органические вещества.

Средства сохранения здоровья. Лекарственные препараты от различных заболеваний применяются еще с древних времен, но лишь в последние 100 лет благодаря развитию биохимии и микробиологии синтезировано более 95% видов лекарств. Эффективность лечения во многом определяется наличием лекарств. Благодаря эффективным лекарственным препаратам вытеснена чума, возникли перспективы излечения от многочисленных инфекционных заболеваний, резко снизилась детская смертность и т. д.

В последнее время разработаны новые методы синтеза фармакологически активных соединений и на основании их получены новые эффективные препараты, регулирующие активность ферментов и рецепторов. Участвуя в большинстве химических превращений, происходящих в живых организмах, ферменты действуют через химических посредников, называемых *гормонами* и *медиаторами*. Они регулируют химические превращения и в результате управляют важнейшими процессами жизнедеятельности — сокращением мышц, выделением адреналина и др. Вещество, подавляющее активность фермента, называется его *ингибитором*. Разработанные ингибиторы ферментов весьма эффективны в лечении гипертонии, атеросклероза, астмы и других болезней.

Рецепторы — макромолекулы, инициирующие биологические процессы. При активации соответствующими гормонами они распознают и связывают биологически активные молекулы, вступившие в каталитическое и регулирующее взаимодействие. Существует два типа агентов, взаимодействующих с рецепторами: агонисты и антагонисты. Агонисты вызывают биологическую реакцию, а антагонисты ее блокируют. Некоторые агенты могут связываться одновременно с разными рецепторами и, следовательно, участвовать в различных биологических процессах. Например, гистамин, связываясь с H1-рецептором, инициирует аллергические реакции и, активизируя H2-рецептор, способствует выделению желудочного сока. Избыток желудочного сока раздражает стенки желудка и приводит к язве. Лекарственный препарат циметидин — специфический антагонист H2-рецептора, подавляющий выделение желудочного сока. Норадrenalин — химический агент нервной системы. Он контролирует выделение адреналина и связывается с четырьмя видами рецепторов, ответственных за различные биологические процессы. Соединения-антагонисты эффективны при лечении сердечно-сосудистых заболеваний, рака, расстройства центральной нервной и эндокринной систем.

В 30-х годах XX в. установлено, что некоторые органические соединения оказывают канцерогенное действие на подопытных животных. Сегодня полагают, что ряд природных и синтетических соединений, содержащихся в окружающей среде, могут способствовать возникновению раковых заболеваний. Различные химические канцерогены образуют ковалентные связи с клеточными макромолекулами (белками, РНК, ДНК), что и приводит к раковым заболеваниям. При этом происходит злокачественное перерождение клеток, которое связано с изменением структуры ДНК. Открыто более сотни генов, мутации которых способствуют превращению нормальной клетки в опухолевую — это онкогены и гены-супрессоры опухолей. К настоящему времени химики-органики умеют определять последовательность нуклеотидов в нормальном гене и онкогене, а также последовательность аминокислот в белках, кодируемых данными генами, что является весьма важным шагом при разработке терапевтических средств лечения.

Вначале раковые заболевания пытались лечить ядами, синтезируемыми из природных веществ. В последнее время много новых и клинически эффективных препаратов выделено из микроорганизмов. Некоторые из них взаимодействуют с ДНК пораженных клеток, внедряясь в спиральные нити ДНК. Широко применяемые противораковые средства, известные под названием антиметаболитов, по своей структуре напоминают природные соединения, нарушающие обмен веществ.

Многие воспалительные болезни вызываются расстройством иммунной системы. *Иммунная система* противодействует заболеванию орга-



низма и вторжению в него посторонних веществ. К настоящему времени установлены ферменты и другие белки, фиксирующие чужеродные тела и координирующие ответную реакцию организма. Клетки плазмы, продуцируемые белыми кровяными тельцами, выделяют в кровь антитела, которые нейтрализуют чужеродные вещества, способные вызывать заболевание. Хотя химическая природа молекул антител известна, но предстоит еще разработать эффективные средства лечения прогрессирующей болезни — синдрома приобретенного иммунодефицита (СПИДа).

Иммунная система служит для биосинтеза антител (антигенов) — защитных белков для нейтрализации чужеродных молекул. Определенная последовательность аминокислот белковой цепи задает избирательность ферментов. Формирование активных центров ферментов и их структура во многом определяются действием вводимого антитела. Более 100 каталитических антител успешно применяются для ферментативных реакций. Специалисты считают, что каталитические антитела принадлежат к биокатализаторам нового поколения.

Серьезную опасность для здоровья человека представляют радионуклиды и тяжелые металлы. Они содержатся в отходах предприятий, выбросах в атмосферу и выхлопах автомобилей, загрязняют почву и воду, накапливаются в живых клетках растений и животных, а отсюда с продуктами питания попадают в организм человека (рис. 7.15). С потоком крови они переносятся по всему организму, оказывая на него вредное воздействие. Так, тяжелые металлы замедляют рост и умственное развитие детей,

вызывают болезни нервной системы, почек и печени. Радионуклиды вызывают повреждения в наследственном веществе, снижение иммунитета, онкологические заболевания.

После аварии на Чернобыльской АЭС активизировался поиск препаратов, очищающих организм человека от радиоактивных атомов. Была поставлена задача разработать препараты, способные образовывать прочные соединения с радиоактивными изотопами, которые потом легко выводятся из организма. Один из таких препаратов, как следует из источника периодической печати, был найден в альгинатах — продуктах переработки бурых морских водорослей, которые очищают воду океана от тяжелых металлов, лишних солей, радиоактивных изотопов. Синтезированный в нашей стране препарат альгисорб способен очищать организм человека от радиоактивных изотопов, не нарушая обмена веществ, не вызывая аллергических реакций и не влияя на наследственность.

7.11. ПРОДЛЕНИЕ ЖИЗНИ ОРГАНИЗМА

Общие сведения. Старение любого организма, в том числе организма человека, воспринимается чаще всего как естественный и неизбежный процесс. Средняя продолжительность жизни человека 55 — 85 лет, а в развитых странах — около 70. Человек может жить 100 лет и более, и такие случаи не редкость, например, в селениях горного Кавказа. Это означает, что потенциальные возможности долголетьей жизни пока не исчерпаны. Проблема продления жизни организма актуальна и по сей день, и ее решением занимаются геронтологи, медики, биохимики, психологи и другие ученые многих стран.

Предполагается, что процесс старения обусловлен нарушением ферментативных реакций, вызываемым различными отклонениями в гормональной системе организма. Современные медицинские средства позволяют корректировать работу гормональной системы и, казалось бы, успешно решать проблему продления жизни. Однако это оказалось не так уж просто.

Первые систематические опыты по выявлению влияния различных факторов на продолжительность жизни проводились на подопытных дрозофилах и дафниях. Установлено, что при ограничении содержания питательных калорий в качественной и разнообразной пище продолжительность их жизни увеличивается в 3—3,5 раза. При точной дозировке белков в пище, составляющей около 14%, удваивается средняя продолжительность жизни крыс. Продлению жизни способствуют аминокислоты (цистин), некоторые витамины, анаболические стероиды, необходимые для синтеза белков в организме, и т.п.

Целенаправленные опыты применения разнообразных биохимических препаратов помогают выявить физико-химическую и биологическую природу механизма старения организма, синтезировать препараты, селективно влияющие на организм, т.е. продлевающие жизнь отдельным органам: печени, сердцу, мозгу и т.п. Важнейшим результатом подобных опытов будет синтез универсального препарата против старения.

Энтропийный характер старения. С давних времен ученые пытаются раскрыть механизм старения и найти способы его предотвращения. Однако до сих пор многое остается загадкой, хотя кое-что удалось выяснить совсем недавно.

Иногда встречаются весьма необычные люди. Они могут долгое время находиться без сна, не подвергаться действию опасных вирусов и т.п. Однако нет человека, неподвластного старению. Всем известно, что все живое стареет и в конце концов умирает, т.е. переходит в другую форму материи. Стареют, ветшают и приходят в непригодность даже объекты неживой природы: здания, мосты, машины и т.п. Может показаться удивительным — металл тоже стареет. Все это наводит на мысль: старение — это неизбежный, необратимый процесс, общий для живой и неживой природы.

В соответствии со вторым началом термодинамики любой реальный процесс необратим и сопровождается возрастанием энтропии. Энтропия — это мера хаоса, беспорядка. Значит, любой реальный естественный процесс, в том числе и старение, приводит к возрастанию хаоса. В результате старения нарушается упорядоченная взаимосогласованная работа элементов живой системы. Именно в этом смысле можно говорить об энтропийном характере старения объектов живой природы.

Разрушение происходит само собой, а процессы развития и созидания требуют затрат энергии. Для создания и поддержания устойчивого существования любой упорядоченной структуры необходим приток энергии. Живые организмы относятся к открытым термодинамическим системам: растения поглощают солнечную энергию, в результате чего образуются органические вещества, при потреблении которых организмы животных обеспечивают себя энергией. При этом живые объекты находятся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, являясь тем самым своеобразным источником рассеяния энергии. На определенной стадии развития поглощенная открытой системой энергия приводит к ее самоусложнению, а в ряде случаев и к совершенствованию.

Образуя все более сложную структуру и накапливая информацию, живые системы стремятся предотвратить необратимое рассеяние энергии и тем самым противостоять возрастанию энтропии не только в окружающей их среде, но и во Вселенной в целом, т.е. противостоять старению. Такое противостояние можно представить как единство и борьбу проти-

воположностей, т.е. как проявление диалектического закона природы, предписанного генетической программой, неоднократно воспроизводимой живым организмом и передаваемой следующим поколениям.

Механизм старения и продолжительность жизни. В утверждении «все живое подвержено старению» содержится некоторая неточность. Что происходит, когда живая клетка или бактерия в процессе размножения делится пополам? Живая клетка при этом не стареет и не погибает, а дает начало другим клеткам, которые в свою очередь снова делятся и т.д., т.е. она остается фактически бессмертной. Вопрос о старении одноклеточных организмов и непрерывно делящихся клеток, например половых или опухолевых, до сих пор остается открытым. В конце XIX в. немецкий зоолог Август Вейсман (1834—1914) предложил идею о бессмертии бактерий. Многие ученые согласны с ней и сегодня, другие подвергают ее сомнению. При этом те и другие приводят определенные аргументы.

В многоклеточных организмах значительная часть клеток не может постоянно делиться — они выполняют другие функции: обеспечивают движение, питание, управление различными процессами и т.п. Противоречия между функциональной специализацией клеток и их бессмертием природа разрешила путем разделения клеток на два типа: соматические и половые. *Соматические клетки* поддерживают жизнедеятельность в организме, а половые делятся, обеспечивая продолжение рода. Соматические клетки стареют и умирают, половые же практически вечны. Существование огромных и сложных многоклеточных организмов, содержащих множество соматических клеток, направлено на поддержание бессмертия половых клеток.

Каков же механизм старения соматических клеток? Установлено, что каждая из них способна делиться не более 50 раз. Постепенное старение всего организма обусловлено тем, что его соматические клетки исчерпывают отпущенное на их долю число делений, после чего клетки стареют и погибают. Возможны случаи, когда соматические клетки, нарушая такое правило, делятся непрерывно, воспроизводя свои копии. Однако подобное деление ни к чему хорошему не приводит — ведь именно так появляется в организме опухоль, часто приводящая к гибели всего организма.

Еще в начале XX в. физиологи обратили внимание на то, что крупные млекопитающие живут дольше, чем мелкие. Например, мышь живет 3,5 года, собака — 20 лет, слон — 70. Такая зависимость объяснялась разной интенсивностью обмена веществ. Средняя суммарная затрата энергии на единицу массы тела у разных млекопитающих в течение жизни примерно одинакова — 200 ккал/г. Каждый вид способен потреблять лишь определенное количество энергии и, исчерпав ее, погибает.

Интенсивность обмена веществ и общее потребление кислорода зависят от размера животного. Чем больше интенсивность обмена веществ,

тем меньше продолжительность жизни. Малая масса тела и высокий обмен веществ обуславливают небольшую продолжительность жизни. Однако из этого простого правила существует немало исключений. В частности, суммарные затраты энергии, приходящиеся на единицу массы тела человека, очень велики, а продолжительность его жизни в четыре раза больше, чем должна бы быть при соответствующем таким затратам обмене веществ. Как выяснилось сравнительно недавно, причина заключается в одном важном факторе, определяющем продолжительность жизни, — парциальном давлении кислорода. Концентрация кислорода в воздухе — около 21%. Ощутимое ее изменение приводит к гибели живых организмов. То, что нехватка кислорода губительна для живого, известно многим, а вот об опасности его избытка знают немногие. Чистый кислород убивает лабораторных животных в течение нескольких дней, а при давлении 2—5 атм такой срок сокращается до часов и минут.

Сама по себе молекула кислорода и продукт ее полного восстановления — вода — не токсичны. Однако восстановление кислорода сопровождается образованием повреждающих клетки продуктов: супероксидного анион-радикала, пероксида водорода и гидроксильного радикала. Их называют активными формами кислорода. На их образование расходуется около 5% потребляемого организмом кислорода. Ферменты снижают вредное действие активных форм на клетки. Основную роль при этом играет фермент супероксиддисмутаза, превращающий супероксидные анион-радикалы в более безобидный пероксид водорода и в молекулярный кислород. Пероксид водорода разрушается другими ферментами — каталазой и пероксидазами.

Известна и положительная роль активных форм кислорода — они способны защищать организм от микробов и даже от некоторых опухолей. Но все же их повышенное содержание приводит к разрушению клеток. Результаты исследований последнего времени показали, что скорость образования активных форм кислорода замедляется углекислым газом, содержащимся в крови. Это означает, что для жизнедеятельности организма необходим и углекислый газ, предотвращающий разрушение клеток.

Выяснение механизма обезвреживания активных форм кислорода способствовало пониманию некоторых проблем радиобиологии, онкологии, иммунологии и т. д. Родилась свободнорадикальная теория старения, в соответствии с которой возрастные изменения в клетках обуславливаются накоплением в них повреждений, вызываемых свободными радикалами — осколками молекул с неспаренными электронами, обладающих повышенной химической активностью. Свободные радикалы могут образовываться в клетках под действием радиации, некоторых химических

реакций и перепадов температуры. Но все же главный источник свободных радикалов — восстановление молекул кислорода.

Накопление возрастных изменений в клетках зависит от соотношения двух процессов: образования свободных радикалов и их обезвреживания с помощью супероксиддисмутазы — «фермента антистарения». Количество свободных радикалов, образующихся в клетке, вероятно, возрастает с повышением уровня потребления кислорода или интенсивности обмена веществ. Предполагается, что продолжительность жизни животных и человека зависит от отношения активности супероксиддисмутазы к интенсивности обмена веществ. Высокий уровень активности «фермента антистарения» защищает человека и некоторых животных с интенсивным обменом веществ от преждевременного старения.

Поиск средств против старения. Новое представление о механизме старения позволяет объяснить некоторые факты, хорошо известные геронтологам — ученым, изучающим проблемы старения живых организмов. Например, почему животные, которых кормили малокалорийной, но сбалансированной пищей, живут дольше, чем те, что питались вдоволь? Ответ простой — потому что ограниченное питание уменьшает интенсивность обмена веществ и соответственно замедляет накопление повреждений в клетках. Большая продолжительность жизни женщин (в среднем на 10 лет) связана с более низкой интенсивностью обмена веществ. Феномен долгожительства в горных районах также объясняется меньшей интенсивностью обмена веществ у людей, живущих в условиях с пониженным содержанием кислорода.

Разный срок отпущен клеткам внутри одного организма человека: чем больше в клетках антиоксидантов, тем меньше степень их повреждения активными формами кислорода, тем дольше они живут. Поэтому некоторые клетки крови живут несколько часов, а другие — несколько лет. Наблюдения показали, что изменения в организме при естественном старении и действии радиации похожи. Оказалось, что при действии радиации происходит разложение воды с образованием активных форм кислорода, повреждающих клетки.

Результаты исследований последнего времени позволили выработать стратегию поиска средств против старения. Так, удалось увеличить в полтора раза жизнь лабораторных животных, вводя в их рацион сильные антиоксиданты. Введение антиоксидантов типа супероксиддисмутазы защищает их от токсичного действия кислорода и способствует увеличению продолжительности их жизни. Это вселяет надежду на то, что антиоксиданты можно использовать как эффективное средство против старения человека. Установлено, что из множества антиоксидантов, содержащихся в продуктах питания и с помощью которых можно усилить

защиту организма от старения и болезней, особенно важны витамины А, С, Е и микроэлемент селен.

В современном понимании процесс старения запрограммирован генетически, поэтому проблема продления жизни организма должна решаться современными средствами молекулярной биологии и генных технологий. Предполагается, что в старении повинны полифункциональные соединения в виде продуктов обмена веществ, например яблочной, янтарной и фумаровой кислоты, а также радикалов. Между двумя молекулами этих веществ возникают мостиковые связи, что приводит к накоплению дефектных белков и функциональному нарушению работы клеток, а в результате — к старению организма. В соматических клетках ферменты репарации (ремонта) ДНК испытывают отклонения от нормального функционирования гораздо чаще, чем в половых клетках, поэтому старению прежде всего подвергаются нейроны, клетки печени, сердечной мышцы и т.п.

Чем больше отклонений в работе клеток и вызывающих их факторов, тем быстрее проходит процесс старения. Известно, что свободные радикалы приводят к существенным отклонениям в работе ферментов репараций. Поэтому разработка ингибиторов свободных радикалов — одно из важнейших направлений в решении проблемы продления жизни организма. Но все же наиболее эффективный способ предотвращения старения заключается в исправлении программы, заложенной в геноме организма.

Возрастное ослабление организма обуславливается ухудшением работоспособности составляющих его клеток. Почему с возрастом активность клеток уменьшается? Исследования показали, что с каждым клеточным делением уменьшаются теломеры — особые хромосомные структуры, расположенные на концах клеточных хромосом. Такое уменьшение теломеры приводит к старению клеток. Проведенный в 1997 г. в США и Канаде эксперимент по искусственному удлинению теломер в клетках *in vitro* дали удивительный результат: клетки обрели способность многократно делиться, полностью сохраняя свои нормальные свойства. Очень важно, что клетки, обретя потенциальное бессмертие, не стали раковыми и не вызывают опухолей. В последние годы обнаружен клеточный фермент — *теломераза*, способствующий наращиванию концов хромосом — теломер, которые неизбежно укорачиваются при рождении клеточных поколений. Появились сообщения о том, что в организме человека теломеры хромосом могут удлиняться без участия теломеразы.

По оценкам специалистов, в настоящее время на земном шаре живут примерно 100 000 человек в возрасте свыше ста лет. Проводятся целенаправленные эксперименты, обсуждаются различные мнения и гипотезы — все это дает возможность с оптимизмом утверждать: если не нынешнее, то грядущее поколение воспользуется плодами кропотливых и сложнейших экспериментов, которые позволят продлить жизнь человеку до 100, 200 лет и более.

7.12. ФОРМИРОВАНИЕ НООСФЕРЫ

Появление научной мысли в биосфере в перспективе неизбежно полностью ее видоизменит. В сочетании с трудовой деятельностью человека мысль становится неведомой до этого геологической силой, способной преобразовать вместе с биосферой весь поверхностный слой Земли. Носитель земного разума — человек — с нарастающим темпом воздействует на биосферу, активно захватывая все занимаемое ею пространство, меняя облик земной поверхности. По убеждению академика В.И. Вернадского, преобразование биосферы грядет неизбежно и необратимо. Такая точка зрения была высказана им в начале 30-х годов XX в. и со скептицизмом воспринята научным сообществом тех лет. Ученый назвал трансформированную биосферу *ноосферой*. Под ноосферой он понимал не выделенный над биосферой «мыслящий пласт», а качественно новое ее состояние. Известны и более ранние переходы биосферы в подобные состояния, сопровождавшиеся почти полной ее перестройкой. Но современный переход представляет собой нечто особенное, ни с чем не сравнимое.

Свой анализ процесса трансформации биосферы в ноосферу В.И. Вернадский заканчивал следующими обобщениями.

— Ход научного творчества является той силой, при помощи которой человек меняет биосферу. Изменение биосферы после появления в ней человека — неизбежное явление, сопутствующее росту научной мысли.

— Изменение биосферы не зависит от человеческой воли, оно стихийно, как природный естественный процесс.

— Научная работа человечества есть природный процесс, сопровождаемый переходом биосферы в новое, более упорядоченное состояние — ноосферу.

— Такой переход выражает собой «закон природы». Поэтому появление в биосфере рода Ното (человека) есть начало новой эры в истории планеты.

— Человек может рассматриваться как определенная функция биосферы, в определенном ее пространстве—времени. Во всех своих проявлениях человек составляет определенную закономерную часть биосферы.

— Взрыв научной мысли в XX столетии подготовлен всем прошлым биосферы и имеет глубочайшие корни в ее строении. Он не может остановиться и пойти назад. Биосфера же неизбежно, рано или поздно, перейдет в ноосферу. И в истории народов, населяющих планету, произойдут нужные для этого события, а не события, этому противоречащие.

Что можно сказать по поводу перехода биосферы в ноосферу с точки зрения современной концепции развития? Во-первых, процесс трансформации биосферы — это объективная реальность. Мы все, живущие на Земле, являемся свидетелями и в определенной мере участниками этого пере-

ходного процесса, даже если не отдаем себе отчета в характере происходящего. Процесс преобразования биосферы начался не вчера и завершится не завтра. По человеческому масштабу времени трансформация растянута на несколько поколений, но в геологическом измерении она мгновенна и ее следует рассматривать как скачок в развитии биосферы. Во-вторых, в основе современных представлений об этом процессе лежит предложенная В.И. Вернадским концепция формирования ноосферы.

Контрольные вопросы

1. С возникновением каких основополагающих жизненных систем произошел переход неживой материи к живой?
2. Какие функции выполняют молекулы ДНК?
3. Каковы структура и состав молекул ДНК?
4. Как образуется генетический код? Каковы его основные свойства?
5. Каковы структура и функции белков?
6. Почему клетку считают живым организмом?
7. Из чего состоят клетки?
8. Чем отличается растительная клетка от клетки животных?
9. На какие группы делятся все организмы в зависимости от типа клеток?
10. При каких условиях зарождалась жизнь на Земле?
11. Какова роль соединений углерода при образовании живых систем?
12. В чем заключается химическая эволюция?
13. Какова роль фотосинтеза в зарождении многоклеточных организмов?
14. Охарактеризуйте кратко предпосылки для развития эволюционной идеи.
15. В чем заключается сущность эволюционной идеи Дарвина?
16. В чем заключалась основная идея Менделя о наследственности?
17. Что такое искусственный отбор?
18. Какова взаимосвязь целенаправленных действий и естественного отбора?
19. Дайте краткую характеристику эволюции жизни в разные геологические эры.
20. Охарактеризуйте основные разновидности растений и животных.
21. Каковы особенности растительного и животного мира?
22. Назовите основные типы адаптаций живых организмов.
23. В чем заключаются физиологические особенности человека?
24. Каковы основные свойства мозга человека?
25. Существуют ли возрастные ограничения в развитии человека?
26. В чем сущность социологической идеи Гегеля?
27. Чем обуславливается эстетическое восприятие человека?
28. Охарактеризуйте кратко проблему роста населения и обеспечения продовольствием.
29. Назовите основные способы увеличения продовольственных ресурсов.
30. Как можно улучшить плодородие почвы?
31. Что такое фиксация азота?
32. Какова роль белков в питании?
33. Охарактеризуйте роль фотосинтеза в жизнеобеспечении человека.
34. Какова специфика современных средств сохранения здоровья?
35. Чем обуславливается процесс старения организма?
36. Как зависит продолжительность жизни от интенсивности обмена веществ?
37. В чем заключаются основные современные способы продления жизни организма?
38. Что такое ноосфера и как она формируется?

Блажен человек, который снискал мудрость,
и человек, который приобрел разум.

Библия

(Книга притчей Соломоновых, гл.3, ст. 13, 14)

ЧАСТЬ

IV

**ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ
ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭКОЛОГИИ**



*

Естественно-научные
аспекты технологий

*

Естественно-научные
проблемы энергетики

*

Естественно-научные
аспекты экологии

*

Гармония природы
и человека

*

8. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЙ

8.1. РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Технологии и естествознание. *Технология* — совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья или полуфабрикатов, осуществленных в процессе производства продукции. Слово «технология» означает, кроме того, научную дисциплину, изучающую физические, химические, механические и другие закономерности различных производственных процессов. В последнее время это слово стало ключевым. Часто говорят о технологиях: информационных, микроэлектронных, химических, генных, биотехнологиях и др. Ощущается некое «засилье технологий».

Следует различать естественно-научные знания, которые что-то объясняют, и знания, которые вооружают стратегией и тактикой действий: одно дело — «я знаю», — другое — «я умею». Вот если «я знаю», то это фундаментальная наука, если «я умею» — это уже технология, некая совокупность действий, процессов, а также процедура управления действиями, процессами, регламент, направленный на достижение заранее предопределенного результата.

Рождение той или иной технологии говорит о высоком уровне зрелости соответствующей ей отрасли естествознания, когда она начинает развиваться быстро и оказывается полезной обществу, становится прикладной. В современном обществе развиваются многие виды технологий, среди которых большое внимание уделяется информационным технологиям.

Унификация информационных технологий. Удовлетворение все возрастающих потребностей общества при неуклонном росте народонаселения земного шара требует резкого повышения эффективности всех сфер деятельности человека, непременным условием которого выступает адекватное повышение эффективности информационного обеспечения. Под информационным обеспечением понимается представление необхо-

димой информации с соблюдением требований ее своевременности и актуальности. Представление необходимой информации — одна из важнейших составляющих информатизации общества. Концепция информатизации включает прежде всего создание унифицированной в широком спектре приложений и полностью структурированной *информационной технологии*, включающей процессы сбора, накопления, хранения, поиска, переработки и выдачи всей информации, необходимой для информационного обеспечения деятельности.

Чтобы информационная технология была унифицированной в широком спектре приложений, должны быть унифицированы:

- представление об информации, т.е. ее классификация и описание параметров основных видов, выделенных в классификационной структуре;

- структура и общее содержание информационного потока, т. е. процессов генерирования, фиксации и циркуляции информации в целях информационного обеспечения деятельности;

- перечень и содержание процедур обработки информации во все время и на всех этапах информационного обеспечения деятельности;

- перечень и содержание методов решения задач и обработки информации.

Возможности унификации информационных технологий открывают широкие перспективы развития как самих технологий, так и информатики в целом. На основе естественно-научных знаний уже в настоящее время можно создать и реализовать информационные технологии, унифицированные до такой степени, что, с одной стороны, информация может использоваться в различных сферах деятельности без дополнительной трансформации и адаптации, а с другой — она может быть стабильной, не нуждаться в принципиальном совершенствовании достаточно продолжительное время.

При любом подходе к постановке целей и задач информационных технологий вычислительные средства в разнообразных формах, начиная от мини-ЭВМ, персональных компьютеров и кончая суперЭВМ и сложнейшими вычислительными системами и комплексами, играют первостепенную, основную роль в информационном обеспечении и развитии общества. Информационные технологии прямо или косвенно касаются каждого из нас. Информация стала постоянным спутником человека. Она помогает нам не только ориентироваться в окружающей среде, но и активно воздействовать на нее, выбирая при этом наиболее рациональные и оптимальные способы и применяя при этом современные вычислительные средства.

История развития вычислительных средств. Для облегчения физического труда еще с древних времен изобретались разнообразные при-

способления, механизмы и машины. Однако лишь немногие из них помогали человеку выполнять работу, похожую на умственную, хотя потребность в ней возникла давно. Вначале в течение длительного времени использовались *примитивные средства счета*: счетные палочки, камешки и т.д., а затем — счеты. Если раньше подавляющее большинство людей занималось физическим трудом, то в XX в. во многих развитых странах стал преобладать умственный труд и, следовательно, возросла потребность в машинах, облегчающих такой труд. Совершенно ясно, что без машин, способных расширить умственные возможности человека, теперь просто не обойтись.

Первые машины, выполняющие арифметические операции, появились в XVII в.: в 1642 г. французский математик и физик Блез Паскаль изобрел устройство для сложения чисел, а в 1673 г. немецкий ученый Вильгельм Лейбниц сконструировал *арифмометр*, производящий четыре арифметических действия. Изобретение арифмометра — важный шаг в развитии вычислительных средств. Однако производимые с его помощью расчеты требовали много времени.

В первой половине XIX в. сделана попытка построить универсальное вычислительное устройство — *аналитическую машину*, выполнявшую вычисления самостоятельно, без участия человека, т.е. машину, которая работала бы по заданной программе и накапливала бы информацию. Однако технологические возможности того времени не позволили реализовать идею создания подобной машины. Только спустя почти столетие, в 1943 г., когда появились электромеханические реле, удалось сконструировать первую аналитическую машину.

Новая модификация вычислительных машин на базе *электронных ламп* работала в тысячу раз быстрее. В основу разработки следующей модификации аналитических машин легли общие принципы функционирования универсальных вычислительных средств, предложенные в 1945 г. американским математиком и физиком Джоном Нейманом (1903—1957). Одна из таких модификаций создана в 1949 г. С того времени вычислительные машины стали гораздо совершеннее, но большинство из них построено на тех же общих принципах функционирования: для универсальности и эффективности работы вычислительная машина должна содержать арифметико-логическое устройство, выполняющее арифметические и логические операции, устройство управления для организации процесса исполнения программ, запоминающее устройство (или память для хранения программ и данных), внешние устройства для ввода-вывода информации. В современных вычислительных машинах, называемых компьютерами, арифметико-логическое устройство и устройство управления, как правило, объединены в центральный процессор. Для повышения быстродействия компьютера обработка информации производится одно-

временно на нескольких процессорах. Компьютер обрабатывает информацию только в цифровой форме. Вся другая информация (звуки, изображения, показания приборов и т.д.), вводимая в компьютер, преобразуется в цифровую форму.

В развитии вычислительных средств различают несколько поколений, непосредственно связанных с открытиями в физике XX в. *ЭВМ первого поколения* (40-е — начало 50-х годов XX в.) базировались на электронных лампах. С применением полупроводниковых приборов связывают *второе поколение ЭВМ* (середина 50-х — начало 60-х годов). В конце 60-х годов появилось *третье поколение ЭВМ*, основанное на интегральных схемах. В 70-е годы разработаны *ЭВМ четвертого поколения* с элементной базой на больших интегральных схемах. В последнее время для создания ЭВМ следующих поколений модернизируется их элементная база, разрабатываются принципиально новые средства накопления, хранения и обработки информации.

ЭВМ 40-х и 50-х годов XX в. представляли собой крупногабаритные и дорогостоящие устройства, поэтому они были доступны только лишь крупным учреждениям и компаниям. По мере развития технологий ЭВМ становились компактнее и дешевле. Современные персональные компьютеры стоят от нескольких сотен до 10 тыс. долл. По сравнению с большими ЭВМ и мини-ЭВМ персональные компьютеры весьма удобны для многих сфер применений.

Суперкомпьютеры. Высокопроизводительные вычислительные системы, суперЭВМ принято считать форпостом компьютерной техники. Они в значительной степени определяют экономическую независимость и национальную безопасность государства. Развитие отечественной высокопроизводительной техники начиналось с разработки в 1953 г. самой быstroдействующей в Европе ЭВМ. Ее производительность 8000—10 000 операций в секунду (оп/с). Эта машина создана под руководством нашего соотечественника, академика АН СССР С.А. Лебедева (1902—1974). Производительность более совершенной модификации такой машины составляла 1 млн. оп/с. Более высокой производительностью — 125 млн. оп/с — обладал отечественный многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-2», созданный в 1985 г. В разработку отечественных вычислительных и управляющих систем существенный вклад внесли российские ученые С.В. Емельянов (р. 1929), В.С. Бурцев (р. 1927), С.К. Коровин (р. 1945), Г.И. Савин (р. 1948) и др.

Мощные компьютеры разрабатываются и по сей день. В 2002 г. японская фирма NEC демонстрировала самый мощный в мире суперкомпьютер, производительность которого достигает 40 трлн. оп/с. Современные суперкомпьютеры позволяют решать довольно сложные задачи, связанные с прогнозированием погоды, оптимальным распределением энергии, мо-

делированием сложных естественных процессов, синтезом новых материалов и т.п.

Интернет. Возможности персонального компьютера существенно расширяются с применением компьютерных сетей. *Компьютерная сеть* представляет собой набор соединенных между собой компьютеров с периферийными и коммуникационными устройствами. Подавляющее большинство компьютеров образует ту или иную сеть. Опыт эксплуатации сетей показывает, что преобладающая часть объема пересылаемой по сети информации замыкается в пределах одного офиса. Соединенные между собой компьютеры в одном учебном классе либо в одном учебном учреждении, или в каком-то административном районе и т.д. образуют *локальную сеть*.

Существует два типа компьютерных сетей. В одном из них выделяется специальный компьютер (сервер) для организации работы сети, а в другом — нет. Сервер осуществляет централизованное управление компьютерной сетью. В сети без сервера каждый подключенный к сети пользователь имеет доступ к ресурсам (дисковое пространство, принтер), предоставленным другими пользователями.

Для подключения к удаленным компьютерным сетям либо отдельным компьютерам используются телефонные линии. Передача информации производится с помощью устройства, преобразующего цифровую информацию, хранимую в компьютере, в аналоговую (в виде модулированных электрических сигналов), передаваемую по телефонной линии и производящего обратные преобразования сигнала на входе принимающего компьютера. Такое устройство называется *модемом* (от первых слогов слов: «модулятор» и «демодулятор»).

Локальные сети образуют узлы. Сеть, состоящая из равноправных и независимых узлов, объединенных между собой каналами связи, носит название *Интернет*. Узлом интернета может быть не только локальная сеть, но и любое вычислительное устройство, в том числе и персональный компьютер, подключенный к сети и имеющий свой индивидуальный адрес. Узел оснащен коммуникационным устройством для переключения каналов связи. Для связи используются обычные и оптоволоконные кабели, радиоканалы и каналы спутниковой связи. Интернет образует своеобразную паутину, в которой связь между двумя любыми узлами обеспечивается либо по прямому каналу, либо через ряд промежуточных каналов. Узлы обмениваются между собой информацией. Любая информация разбивается на пакеты и отправляется по доступным каналам связи.

Интернет — глобальная компьютерная сеть, охватывающая весь мир и образующая систему, которая обеспечивает связь информационных сетей, принадлежащих различным пользователям во всем мире. История развития Интернета начинается с 1961 г., когда в США была созда-

на экспериментальная сеть для оперативной передачи информации. Масштабы внедрения Интернета резко возросли после введения в 1982 г. протокола — совокупности принципов, правил и форматов данных, регламентирующих взаимодействие субъектов сети. В середине 90-х годов XX в. особую популярность и новую волну притока в Интернет принес новый сервис — World Wide Web (WWW, всемирная паутина). Именно этот способ организации информации в Интернете сделал его понятным и доступным широкому кругу пользователей. Например, в 1995 г. число пользователей удваивалось каждые 50 дней. К концу 90-х годов XX в. их общее число составляло более 15 млн. примерно в 150 странах мира.

Широко распространенным сервисом Интернета является *электронная почта*. Для обмена письмами по электронной почте каждому абоненту на одном из сетевых компьютеров выделяется область памяти — электронный почтовый ящик, доступ к которому осуществляется по адресу абонента и его паролю.

Интернет обеспечивает доступ ко многим видам информации — не выходя из дома можно получить сведения о последних событиях в мире, публикуемых в научных журналах материалах, посмотреть ту или иную телепередачу, понравившийся фильм и вести переписку с абонентом, находящимся в любой точке земного шара. В этом смысле возможности Интернета кажутся неограниченными. Однако следует помнить, что некоторые виды предоставляемой почти бесплатно информации не всегда являются достоверными и полезными, а в ряде случаев носят деструктивный, безнравственный характер, направленный на деградацию личности. Тем не менее не следует огорчаться: огонь может быть огромной разрушающей силой, но в руках разумного человека он приносит только неоценимую пользу. Конечно же, при разумном, взвешенном подходе в выборе необходимой информации Интернет способствует всестороннему развитию личности.

Применение вычислительных средств. Возможность сочетания ЭВМ с уже существующими и вновь создаваемыми машинами и системами машин освобождает человека от физического труда, связанного с тяжелыми, а иногда вредными и опасными условиями, а также с монотонными, однообразными, утомительными и нетворческими действиями.

Рассмотрим некоторые примеры применения современных вычислительных средств. Самое широкое распространение получили микропроцессорные системы для *станков с программным управлением*. Более сложные микропроцессорные системы — *промышленные роботы* — снабжены простейшими «органами чувств», способными своевременно реагировать на изменение ситуации. Применение роботов позволяет полностью автоматизировать работу производственных участков, цехов и целых заводов. Однако всегда останутся области деятельно-

сти, где ЭВМ не может полностью заменить человека. Это прежде всего области, связанные с неформальным творческим подходом к делу. Но ЭВМ может облегчить творческий труд. Для этого создаются *автоматизированные рабочие места* (АРМ). Например, программное обеспечение АРМ директора предприятия содержит *автоматизированную систему управления* (АСУ), которая быстро выдает на экран дисплея или на бумагу оперативную сводку о положении дел на предприятии (наличие ресурсов, ход выполнения плана, сведения о работниках предприятия и т. п.), помогает в выборе смежников, а также экономической стратегии и тактики. Создаются АСУ, предназначенные для обеспечения оптимального взаимодействия уже не отдельных станков и автоматических линий, а цехов, производственных объединений в масштабах целой отрасли.

Область применения ЭВМ расширяется в результате не только увеличения числа механизмов, машин и других устройств, к которым подсоединяется ЭВМ, но и роста ее «интеллектуальных» способностей. Так, информационно-поисковые системы и базы данных перерастают в *базы знаний*, развитию которых способствует Интернет. В базах знаний хранятся не только данные, но и правила вывода новых утверждений из уже имеющихся. А это означает, что база данных способна порождать новые знания.

8.2. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Общие сведения. Появление наскальных рисунков и надписей свидетельствует о стремлении человека еще в древние времена сохранить свои наблюдения, передать их потомкам. Позднее стали писать на глиняных пластинах, свитках папируса, а примерно два тысячелетия назад появился и поныне самый распространенный носитель информации — бумага. Но вот наступил век электроники и принес в повседневную жизнь еще одну новинку — ЭВМ — своеобразный кладезь премудрости человека. Бумага, верой и правдой служившая человеку долгое время, начинает постепенно сдавать некоторые области своей абсолютной монополии. Сейчас важнейшее место в развитии цивилизации отводится электронной вычислительной технике, в первую очередь получившим широкое распространение персональным компьютерам.

Представляют интерес некоторые цифры, характеризующие объем информации, накапливаемой человечеством. Одна книга среднего формата содержит около 1 млн. байт информации. Крупнейшая в мире библиотека Конгресса США хранит примерно 20 млн. книг и 3,5 млн. единиц звукозаписи, что вместе составляет приблизительно 2 Петабайта (1 Пбайт = 10^{15} байт). По оценке ЮНЕСКО, в мире ежегодно печатается около 100 терабайт ($100 \cdot 10^{12}$ байт) нового текста (без учета переизда-

ний), в том числе 10 тыс. газет, издающихся в разных странах. Ежегодно в мире выпускается примерно 5000 кинофильмов, а всего со времен братьев Люмьер, французских изобретателей, создавших в 1895 г. первый киноаппарат, в виде кинофильмов выпущено около 1 Пбайта информации. Профессионалы и любители делают ежегодно 50 млрд. фотоснимков, что составляет примерно 0,5 Пбайт. На телевизионные передачи приходится 100 Пбайт. Информация, передаваемая по телефону во всем мире, оценивается в несколько тысяч петабайт. Приведенные цифры впечатляют — человечество оказалось в колоссальном информационном океане. Чтобы свободно плавать в таком безбрежном океане, создаются локальные и глобальные сети, объединяющие множество персональных компьютеров.

По объему накапливаемой информации и скорости ее обработки возможности персональных компьютеров все же ограничены: на современном персональном компьютере можно хранить всего лишь десятки гигабайт информации. Во многих отраслях — банковское дело, системы резервирования и реализации авиа- и железнодорожных билетов, метеослужба и компьютерное производство видеофильмов — требуется обрабатывать сравнительно большие объемы информации с высокой скоростью и, следовательно, нужны большие компьютеры и суперкомпьютеры.

В последнее время наряду с суперкомпьютерами разрабатываются сравнительно небольшие компьютеры с миниатюрными накопителями информации. Самый маленький в мире накопитель информации в виде жесткого диска памяти производит американская фирма IBM. По размерам он сравним с отечественной пятирублевой монетой, однако объем его памяти достаточно большой — 340 Мбайт. Этот миниатюрный диск очень удобен для карманных компьютеров и цифровых фотоаппаратов. На винчестер-малютку можно записать несколько сотен цветных фотографий, а затем распечатать на принтере или перевести в память большего компьютера.

Все виды ЭВМ, в том числе большие и малые компьютеры, содержат запоминающее устройство — тот или иной накопитель информации, или память. Память — это то, что наделяет ЭВМ интеллектуальными признаками и что существенно отличает ее от других машин и механизмов.

Память человека и память ЭВМ. Память — несомненно, один из важнейших атрибутов человека. Развитый, утонченный и вместе с тем изощренный аппарат памяти, пожалуй, это основное, что выделяет человека среди других представителей живого мира. Не только запоминание окружающего (это неосознанно делают и животные), но и воспоминание, логическое осмысление, многократное обращение сознания к хранилищу памяти и извлечение из него всего того, что нужно в данный момент, — на это способен лишь человек, наделенный разумом.

Совокупная память всех людей, коллективная память человечества, материализованная в многочисленных книгах, картинах, нотах, фотографиях, чертежах, кинофильмах, архивных документах и во многом-многом другом, вне всякого сомнения образует один из основных краеугольных камней фундамента человеческой цивилизации. За последние десятилетия разнообразные технические средства накопления и хранения информации пополнились еще одним — наиболее универсальным и гибким — памятью ЭВМ, которой во все большей степени отводится постоянно возрастающая роль в совершенствовании ЭВМ, и, следовательно, в развитии общества в целом.

Сегодня ЭВМ стала главным инструментом, с помощью которого осуществляется управление информационными потоками. Так в общих чертах выглядит современная картина. О памяти ЭВМ известно гораздо больше, чем о памяти человека, его сознательной и бессознательной деятельности. Надпись «Познай самого себя», начертанная у входа в дельфийский храм Аполлона, актуальна и по сей день. Память человека обладает индивидуальными, многогранными, удивительными и большей частью не объясненными пока свойствами. Цицерон считал, что «для ясности памяти важнее всего распорядок; поэтому тем, кто развивает свои способности в этом направлении, следует держать в уме картину каких-нибудь мест и по этим местам располагать воображаемые образы запоминаемых предметов». Примерно по такому принципу построена и память ЭВМ. Из приведенных образных сравнений понятно, что память ЭВМ по многим параметрам отстает от мозга человека. И мы непременно «должны учиться у природы и следовать ее законам», как утверждал Н. Бор.

И творческая, и подсознательная деятельность, и другие ее виды, часто объединяемые одним словом «чувство», применительно к памяти ЭВМ можно отнести к искусственному интеллекту, привлекающему внимание многих исследователей.

Высокая плотность записи, большая емкость памяти, высокое быстродействие, способность восприятия и аналоговой, и цифровой информации, возможность оперативного доступа к данным, сочетание адресного и ассоциативного поисков, объединение последовательного и параллельного принципов ввода-вывода информации, отсутствие механически перемещающихся узлов, высокая долговечность и надежность хранения — вот те основные качества, которыми хотелось бы наделить разрабатываемые долговременные запоминающие устройства.

Технологические возможности реализации высокой информационной плотности. Запоминающие устройства большинства моделей ЭВМ основаны на магнитной записи. Прогнозы специалистов показыва-

ют, что в ближайшем будущем устройства магнитной записи останутся доминирующими на мировом рынке информационной техники.

С развитием средств вычислительной техники растет и будет расти спрос на запоминающие устройства небольших размеров, способные хранить большой объем информации. В этой связи проблема повышения информационной плотности записи — одна из важнейших в совершенствовании запоминающих устройств большой емкости.

В запоминающих устройствах на подвижном магнитном носителе, где основное — это накопление информации, фактором первостепенной важности является поверхностная информационная плотность записи, определяемая количеством информации, приходящейся на единицу площади поверхности рабочего слоя носителя записи. Поверхностная информационная плотность записи зависит от плотности записи вдоль одной дорожки (продольной плотности) и числа самих дорожек на единицу длины в поперечном относительно движения носителя направлении (поперечной плотности). Из теоретических расчетов следует, что продольная плотность записи информации на магнитном носителе может достигать 20 000 бит/мм. Если в настоящее время в лучших магнитных накопителях продольная плотность около 5000 бит/мм, то становится понятным, какие возможности еще не реализованы.

Магнитная запись с перпендикулярным намагничиванием, когда перемагничивание рабочего слоя осуществляется в его перпендикулярной плоскости, обеспечивает существенное повышение информационной плотности записи. Так, в лабораторных образцах накопителей уже достигнута продольная плотность, составляющая более 10 000 бит/мм. Для этого применяется записывающий элемент толщиной 0,1 мкм. При его ширине 0,1 мкм поверхностная плотность записи информации равна 100 бит/мкм², что примерно на два порядка больше предельно возможной плотности в оптических накопителях. Воспроизведение информации, записанной с такой высокой плотностью, производится с помощью высокочувствительных магниторезистивных преобразователей.

Голографическая память. Быстродействие памяти зависит от длительности процессов записи, поиска и воспроизведения информации. Увеличение емкости памяти требует и роста скорости обмена информацией. Существенно повысить быстродействие в результате модернизации дисковых накопителей информации — задача довольно трудная. Нужна другая идейная концепция. Оказывается, такая концепция известна и уже привела к некоторым результатам. Речь идет о *голографической памяти*. Она основана на применении лазерного излучения и позволяет реализовать многие свойства, присущие памяти человека.

Однако прошли десятки лет с начала разработки голографической памяти, а реальных, конкурентоспособных устройств, которые можно было

бы отнести к промышленным, а не к лабораторным, до сих пор нет. В чем же дело? Все тот же известный диссонанс идейных концепций и элементной базы. Транзистор, интегральная схема, микропроцессор — элементы, в свое время определявшие лицо вычислительной техники и не только параметры конкретных ЭВМ, но и идеологию научно-технического прогресса. Появился лазер — и возникли новые отрасли естествознания: квантовая радиофизика, топография, нелинейная оптика. Хотя идейные основы данных отраслей предложены гораздо раньше, но только лазер дал им жизнь. С применением полупроводниковых лазеров созданы оптические дисковые накопители.

С голографической памятью ситуация, увы, иная. Используемые в лабораторных разработках ее элементы — газовые лазеры, разнообразные оптические затворы и др. — пока еще несовершенны: как правило, они громоздки, недолговечны, сложны в изготовлении и эксплуатации, в них используются разнородные материалы. Приходится констатировать, что элементная база голографической памяти для промышленного производства еще не создана.

Правда, в последнее десятилетие в развитии ряда направлений оптоэлектроники достигнуты определенные успехи, которые косвенно, а иногда и прямо способствуют решению рассмотренной проблемы. Созданы полупроводниковые лазеры с высокой степенью когерентности излучения, позволяющие записывать качественные голограммы. Развивается интегральная оптика, в рамках которой традиционные объемные оптические элементы заменяются тонкопленочными. Например, тонкопленочные оптические затворы могут переключаться напряжением всего в несколько вольт, при этом время переключения менее 1 нс.

Нейронные сети. В 80—90-е годы XX в. прогресс в развитии вычислительной техники многие связывают с созданием искусственных нейронных сетей. Успехи в разработке и использовании нейрокompьютеров определяются их принципиально новым свойством — возможностью эффективного самообучения в ходе решения наиболее сложных задач. По своей сути нейрокompьютер является имитацией нейронной сети мозга человека.

Используя терминологию вычислительной техники, можно сказать, что нейрон является бинарной ячейкой. Он может находиться либо в возбужденном, либо в невозбужденном состоянии, которое изменяется в результате взаимодействия с другими нейронами. В нейронной сети полезная информация запоминается не отдельными нейронами, а группами нейронов, их взаимным состоянием. Каждый нейрон в большей или меньшей степени связан примерно с 10^4 нейронами. Принимая внешнюю информацию и обмениваясь внутри головного мозга, каждый отдельный нейрон имеет возможность последовательно приближаться к принятию в

сложной внешней обстановке решения и переходу в нужный момент в нужное (возбужденное либо невозбужденное) состояние. Чем больше объем нейронной сети, тем более сложную задачу можно решить с ее помощью.

К настоящему времени производится моделирование нейронных сетей. Магнитооптические управляемые устройства уже сегодня позволяют сформировать высококачественный массив информации, скорость обработки которого по алгоритму нейронной сети существенно превосходит возможности человеческого мозга.

8.3. МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ СИСТЕМЫ И ВИРТУАЛЬНЫЙ МИР

Мультимедиа — это объединение нескольких каналов передачи информации от машины к человеку: звук, изображение, реже — движение реальных предметов. Подразумевается и обратная связь — действия человека должны напрямую и существенно влиять на ход событий в системе. Разработчики современных мультимедийных систем стремятся к возможно более точному моделированию реальности, созданию виртуального мира, в котором человек мог бы совершать то, что недоступно ему в реальности, и в котором он занимал бы ведущее место. Для этого прилагаются всевозможные усилия. Так, создан специальный шлем, позволяющий улучшить стереофоническое восприятие звука и изображения.

А теперь попытаемся разобраться в диалектике двуединого начала мультимедийной системы. Но прежде вспомним, чем люди занимались долгие тысячелетия по изгнанию их за грехи из рая. Они создавали все необходимое для защиты от холода и жары, изобретали средства передвижения по земле, в воде и в воздухе и т.п. В результате вокруг человека формировалась искусственная среда, отделяющая его от реальной природы. Люди стали пренебрегать естественной средой обитания, активно вторгаясь в нее и засоряя ее бытовыми и промышленными отходами. Плата за все это — приближение глобальной экологической катастрофы, предотвращение которой требует региональных и глобальных мер экологической защиты.

Создание искусственной мультимедийной среды с ее альтернативной реальностью — *виртуальным миром* — влечет за собой подобные последствия. Основная функция искусственной среды, как изначально предполагалось, заключалась в повышении эффективности автоматического управления машинами. Усложнялась конструкция машин, и вместе с этим становились все сложнее устройства управления. В настоящее время создаются устройства управления микроклиматом жилища, различными средствами транспорта и технологическими процессами. Программирование их работы требует знания не только возможностей технических

средств управления, их структуры и специфики, но и свойств рецепторного и рефлекторного аппаратов человека, а также психологии восприятия визуальных и акустических образов. Конечно, развитие работ в данном направлении вполне органично вписывается в более общую проблему совершенствования мультимедийных систем — именно в этом их положительное качество.

Стремительный рост информационного потока активизирует защитную реакцию человека, и неосознанно начинает появляться желание избавиться от внешнего информационного воздействия. Люди нашего поколения, как никогда ранее, почувствовали усталость от различного рода политической информации и прежде всего от явных идеологических спекуляций. В этом заключается одна из причин чрезвычайно большой популярности современной аудио- и видеотехники, позволяющей в определенной степени изолироваться от внешнего информационного потока. Не нужно забывать, что многие видео- и аудиосюжеты выбираются из общего идеологического «корыта», заполняемого чаще всего зарубежными «доброжелателями», преследующими вполне определенные политические цели. При этом наиболее удобны мультимедийные игры.

Сущность их заключается в создании для играющего искусственного информационного пространства — от несложных операций укладки кубиков или сбора яиц в лукошко до почти натуральных вылетов на боевых машинах, когда пробуждается присущее каждому человеку естественное желание обогнать, поразить, победить и т.п. Монотонные и однообразные движения и ритмы усыпляют человека, позволяют легко воздействовать на него, гипнотизировать, парализовать его волю и подспудно вдалбливать в его сознание любую (в том числе вредную и опасную!) информацию. Что-то подобное происходит на некоторых кино- и телепредставлениях, дискотеках и концертах с чрезмерно шумной, одурманивающей музыкой.

Отгораживаясь таким образом от реальной жизни людей с ее голодом, холодом, болезнями, войнами, страданиями и оказавшись в виртуальном пространстве, где нажатием кнопки можно взорвать инопланетный космический корабль, сжечь город, наслать поварельные болезни, насладиться интимом с «любимым человеком», наконец, быть «убитому» самому игроку в этих виртуальных видео-аудиотактических мирах, человек теряет ощущение реальности жизни. Он начинает пренебрегать реальными информационными потоками, жить своими интересами в выдуманном мире, где ему хорошо и удобно только одному. Такой человек вряд ли сможет восхищаться ранним восходом солнца с его золотистыми, скользящими по земле лучами. Для него окажутся ненужными ни классическая музыка, ни классические произведения искусства и литературы, на кото-

рых воспитывались многие поколения людей с высокими нравственными качествами.

В той или иной мере всем понятна опасность и страшная губительная сила ядерного, химического и бактериологического оружия, поражающего тело, но остается пока незамеченным другое оружие также массового поражения, которое поражает душу человека, делая его одиноким и беззащитным в придуманном им виртуальном мире. Следует ли ограничивать новые возможности мультимедийных систем? Конечно, нет. Известно, что нож в руках хирурга — добро, а в руках бандита — зло. Полезно помнить, что мультимедийные системы только при разумном их использовании могут непременно способствовать развитию личности и общества. Наиболее полезное использование мультимедийных систем будет не игровым и развлекательным, а научным и учебным, способствующим упрощению и облегчению сложного процесса познания окружающего мира.

8.4. МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНОЛОГИИ

Общие сведения. Характерная особенность современного естествознания — рождение новых, быстро развивающихся наук на базе фундаментальных знаний. К одной из них относится сформировавшаяся в недрах физики *микроэлектроника*, перерастающая в последнее время в *наноэлектронику*. У микроэлектроники и наноэлектроники один общий корень — электроника. В современном представлении *электроника* — наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств (вакуумных, газоразрядных, полупроводниковых), используемых для передачи, обработки и хранения информации. Возникла она в начале XX в. На ее основе были созданы электровакуумные приборы, в том числе и электронные лампы (диод, триод и т.д.). В 50-х годов XX в. родилась *твердотельная электроника*, прежде всего полупроводниковая, а в следующем десятилетии родилась *микроэлектроника* — наиболее перспективное направление электроники, связанное с созданием приборов и устройств в миниатюрном исполнении с использованием *групповой (интегральной)* технологии.

Основу элементной базы микроэлектроники составляют интегральные схемы, выполняющие заданные функции блоков и узлов электронной аппаратуры, в которых объединено большое число миниатюрных связанных между собой элементов. По мере развития микроэлектроники уменьшаются размеры содержащихся в интегральной схеме элементов, повышается степень интеграции. В последнее время разрабатываются интегральные схемы, размеры элементов которых определяются нанометрами (10^{-9} м), т.е. зарождается *наноэлектроника*.

Разнообразные микроэлектронные приборы и устройства находят широкое применение во многих технических средствах. Достижения в микроэлектронике способствовали созданию космических кораблей и управляемых ядерных реакторов. Современная аудио- и видеоаппаратура с достаточно высоким качеством звучания и изображения — это тоже продукция микроэлектроники. На промышленной микроэлектронике базируется автоматизированное производство изделий, узлов, механизмов и машин. Элементная база многочисленных и разнообразных ЭВМ, включающих и персональные компьютеры, также основана на микроэлектронике.

Едва ли можно встретить такого человека, который не был бы прямо или косвенно связан с микроэлектронной аппаратурой, прежде всего как пользователь. Вполне очевидно, что от степени внедрения микроэлектронных средств зависит не только качество производимой продукции, но и темпы развития той или иной промышленной отрасли и государства в целом.

Развитие твердотельной электроники. История развития твердотельной электроники начиналась с возникших и долгое время необъяснимых физических загадок, так называемых «плохих» проводников. Еще в XIX в. выдающийся физик М. Фарадей столкнулся с первой загадкой — с повышением температуры электропроводность исследуемого образца возрастала по экспоненциальному закону, что противоречило известному к тому времени представлению: электрическое сопротивление многих проводников линейно увеличивается с ростом температуры. Спустя некоторое время французский физик А.С. Беккерель обнаружил, что при освещении «плохого» проводника светом возникает электродвижущая сила — фотоЭДС. Так появилась вторая загадка. В 1906 г. немецкий физик К.Ф. Браун (1850—1918) сделал важное открытие: переменный ток, пропущенный через контакт свинца и пирита, не подчиняется закону Ома; более того, свойства контакта определяются величиной и знаком приложенного напряжения. Это была третья физическая загадка.

В дальнейшем к плохим проводникам были отнесены сульфиды и оксиды металлов, кремний, оксид меди и т.п. — вещества, получившие название *полупроводников*. Выпрямление электрического тока с помощью полупроводников и их фотопроводимость нашли практическое применение: были созданы соответственно твердотельный выпрямитель электрического тока и фотоэлемент. В 1879 г. американский физик Э. Холл (1855—1938) обнаружил новое явление — возникновение электрического поля в тонкой пластине золота с током, помещенной в магнитное поле, — названное эффектом Холла. Такой эффект наблюдается и в полупроводниках. Предполагалось, что направление электрического поля определяют электроны и какие-то неизвестные положительно заря-

женные частицы. Эффект Холла — четвертая загадка «плохих» проводников.

Известная к тому времени теория электромагнитного поля Максвелла не смогла объяснить ни одну из четырех загадок. Пока физики искали отгадки, полупроводники находили применение. Так, контакты из полупроводниковых материалов и металла использовались в первых приемниках радиоволн. Кристаллические полупроводниковые детекторы позволяли выпрямлять радиочастотные сигналы, но усиливать их не удавалось.

Изучая свойства кристаллического детектора, наш соотечественник, выдающийся радиоинженер О.В. Лосев (1903—1942) обнаружил на вольтамперной характеристике кристалла участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, на основе чего он создал в 1922 г. генерирующий детектор. Это был первый детектор, способный генерировать и усиливать электромагнитные колебания. В нем использовалась контактная пара металлическое острие — полупроводник (кристалл цинкита). Однако хотя открытие О.В. Лосева и вызвало большой интерес, оно не нашло промышленного внедрения, так как 30—40-е годы XX в. были порой расцвета электровакуумных ламп, нашедших широкое применение в различных устройствах радиосвязи. Ненадежные в то время полупроводниковые приборы не могли конкурировать с ними.

Тем не менее исследование свойств полупроводников продолжалось. Предпринимались поиски природных и синтезированных полупроводников. Исследования существенно активизировались после создания *зонной теории полупроводников*, в соответствии с которой в твердом теле энергетическое состояние электронов характеризуется зонами. В верхней зоне находятся свободные заряды, она названа *зоной проводимости*. Нижняя зона, в которой заряды связаны, получила название *валентной зоны*. Между ними расположена запрещенная зона. Если ее ширина велика, то в твердом теле электропроводность отсутствует и оно относится к диэлектрикам. Если же она невелика, то электроны могут возбуждаться различными способами и переходить из валентной зоны в более высокоэнергетическую. Например, при нагревании твердого тела происходит тепловое возбуждение электронов, повышается их энергия и они переходят в зону проводимости; при этом повышается электропроводность твердого тела, а значит, уменьшается его сопротивление. С ростом температуры число возбужденных электронов увеличивается, и как следствие, сопротивление полупроводника падает. Возможен и другой механизм возбуждения электронов и перевод их из валентной зоны в зону проводимости, при котором они становятся свободными под действием света. Таким образом, зонная теория объяснила две первые загадки: почему сопротивление полупроводников падает при нагревании и при освещении.

Из анализа электропроводимости полупроводников следовало, что на освободившихся от электронов местах в процессе их перехода в зону проводимости образуются вакансии или *дырки*, эквивалентные носителям положительного заряда, обладающим подвижностью, эффективной массой и способностью давать вклад в электрический ток с направлением, противоположным току электронов. Выяснилось, что существуют полупроводники с *электронным типом проводимости (n-тип)*, для которых эффект Холла отрицателен, и полупроводники с положительным эффектом Холла, имеющие *дырочный тип проводимости (p-тип)*. Первые называются *донорными*, вторые — *акцепторными*.

В конце 30-х годов XX в. трое ученых-физиков — А. Давыдов (СССР), Н. Мотт (Англия) и В. Шоттки (Германия) — независимо друг от друга предложили теорию контактных явлений, согласно которой в полупроводниках на границе дырочного и электронного типов полупроводников возникает эффективный электронно-дырочный барьер, препятствующий свободному передвижению электронов и дырок. Через такую границу ток проходит только в одном направлении, а ее электрическое сопротивление зависит от величины и направления приложенного напряжения. Если электрическое поле приложено в прямом направлении, высота барьера уменьшается, и наоборот; при этом неосновные носители тока (дырки в электронном полупроводнике и электроны в дырочном) играют определяющую роль.

В результате многочисленных экспериментов удалось изготовить образец, включающий границу перехода между двумя типами проводимости. Так впервые был создан *p-n-переход*, ставший важнейшим элементом современной полупроводниковой электроники, и к сороковым годам удалось разгадать все четыре загадки «плохих» проводников.

Первым твердотельным прибором, для усиления электрического тока, способным работать в устройствах вместо незаменимой в те времена лампы, стал точечный *транзистор*, в котором два точечных контакта расположены в непосредственной близости друг от друга на верхней поверхности небольшой пластинки кремния *n*-типа. В конце 1947 г. был испытан первый транзистор. Он позволял усиливать сигнал вплоть до верхней границы звуковых частот более чем в сто раз. В 1956 г. за разработку транзисторов американские физики Д. Бардин (1908—1991), У. Браттейн (1902—1987) и У. Шокли (1910—1989) получили Нобелевскую премию.

Истоки современной микроэлектронной технологии. Совершенствование различных полупроводниковых приборов способствовало развитию микроэлектронных технологий, позволивших создать не только превосходные по качеству и надежности транзисторы, но и интегральные схемы, а затем большие и сверхбольшие интегральные схемы, на базе ко-

торых производится разнообразная электронная техника, включая современную аудио- и видеоаппаратуру, быстродействующие ЭВМ и т.п.

Первое промышленное производство полупроводниковых приборов освоено в середине 50-х годов XX в. после разработки технологии зонной очистки для равномерного распределения примесей в кристаллах. В 1955 г. созданы транзисторы со сплавными и *p-n*-переходами, а затем — дрейфовые и сплавные с диффузией.

Самая первая модификация транзистора — *биполярный транзистор* — имел форму цилиндра с тремя выводами соответственно от эмиттера (т.е. части транзистора, из которой поступает ток), коллектора (пункта назначения электронов) и от регулирующей части — базы. Будучи своеобразной «заслонкой», база либо способствовала, либо препятствовала потоку электронов.

В 1957 г. американский инженер Г. Кремер изобрел и запатентовал гетероструктурный транзистор, состоящий из нескольких слоев полупроводникового материала — соединения галлия с различными присадками. Такой транзистор отличался от биполярного гораздо более высоким быстродействием. Позднее тот же автор предложил идею гетероструктурного лазера. Одновременно и независимо от Г. Кремера эту же идею запатентовали российские ученые Ж. Алферов и Р. Казаринов из Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе. В 1970 г. в этом же институте был создан гетероструктурный лазер, способный (в отличие от его аналогов) непрерывно работать при комнатной температуре.

В 1958 г. американский инженер Д. Килби предложил конструкцию микросхемы, в которой весь набор электронных элементов в виде слоев различных материалов располагался на одной пластине из германия. Эта конструкция оказалась основополагающей для изготовления *интегральных схем* с многослойной структурой, включающей множество транзисторов и других элементов, которые komponуются на одной пластине с применением *тонкопленочной групповой технологии*, заключающейся в последовательном формировании элементов. Интегральные схемы составляют техническую базу информационных технологий. За их разработку группа ученых — Ж.И. Алферов, Г. Кремер и Д. Килби — удостоена Нобелевской премии по физике 2000 г.

По мере освоения *тонкопленочной технологии* осаждались тонкие пленки не только полупроводниковых, но и других материалов: диэлектриков, магнетиков и т.д. Особенно широко развернулась тонкопленочная индустрия тонких ферромагнитных пленок, позволившая создать многие высокочувствительные преобразователи и приборы. В нашей стране напыление тонких магнитных пленок и их экспериментальное исследование впервые производились в начале 60-х годов XX в. на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова в лаборатории известного

магнитолога Р.В. Телеснина (1905—1985). Эти первые работы послужили активным началом для многих перспективных направлений исследования физических свойств тонкопленочных ферромагнитных материалов.

При создании современной электронной аппаратуры различного назначения — от аудио- и видеоаппаратуры до сложнейших компьютерных, космических и других систем возникают непростые задачи измерений и контроля. Для решения таких задач на основании предложенных российскими учеными С.Х. Карпенковым и Н.И. Яковлевым магниторезистивных методов измерений созданы принципиально новые высокочувствительные преобразователи и приборы, позволяющие измерять магнитные параметры образцов толщиной до 0,01 мкм и массой менее 0,01 мг, контролировать биотоки в живых тканях и регистрировать сверхбольшие токи — до 300 000 А. За эту работу С.Х. Карпенков и Н.И. Яковлев удостоены Государственной премии Российской Федерации 1998 г. в области науки и техники. Дальнейшая модернизация различных микроэлектронных средств связана с освоением и внедрением нанотехнологий.

Развитие нанотехнологий. В результате совершенствования тонкопленочной технологии в течение последних десятилетий удавалось размещать все большее число элементов на меньшей площади кристалла-подложки интегральной схемы, т.е. удавалось постоянно повышать *степень интеграции*. Еще в 1960 г., вскоре после изобретения микросхемы, американский инженер Гордон Мур предсказал темп роста числа компонентов интегральной схемы, сформулировав закономерность: *число элементов интегральной схемы будет удваиваться каждые 1,5 года*. Специалисты часто называют эту закономерность законом Мура. В течение последних сорока лет прогнозы Мура оправдывались. Например, в 1970 г. число компонентов в микросхеме модуля памяти составляло 10^3 , в 2000 г. — 10^9 . Действительно, темпы роста степени интеграции впечатляют.

Известны три пути повышения степени интеграции. Первый из них связан с уменьшением топологического размера и соответственно повышением плотности упаковки элементов на кристалле. Совершенствование технологических процессов, особенно литографии, а также процессов травления позволяло ежегодно уменьшать размер элемента примерно на 11 %. В настоящее время достигнут топологический размер 0,3—0,5 мкм, а в ряде экспериментальных работ используется топографический рисунок с еще меньшими размерами элементов. Дальнейшее уменьшение топологических размеров требует разработки новых технологических приемов. Увеличение площади кристалла — второй путь повышения степени интеграции. Однако получение бездефектных кристаллов больших размеров — весьма сложная технологическая задача: наличие дефектов резко

снижает процент выхода годных и увеличивает стоимость интегральной схемы. Третий путь заключается в оптимизации компоновки элементов.

Тенденция к усложнению интегральных схем — от больших (БИС) в 70-х годах до ультрабольших (УБИС) в 90-х годах XX в. и гигантских (ГИС) после 2000 г. — выражается прежде всего в увеличении числа транзисторов на кристалле.

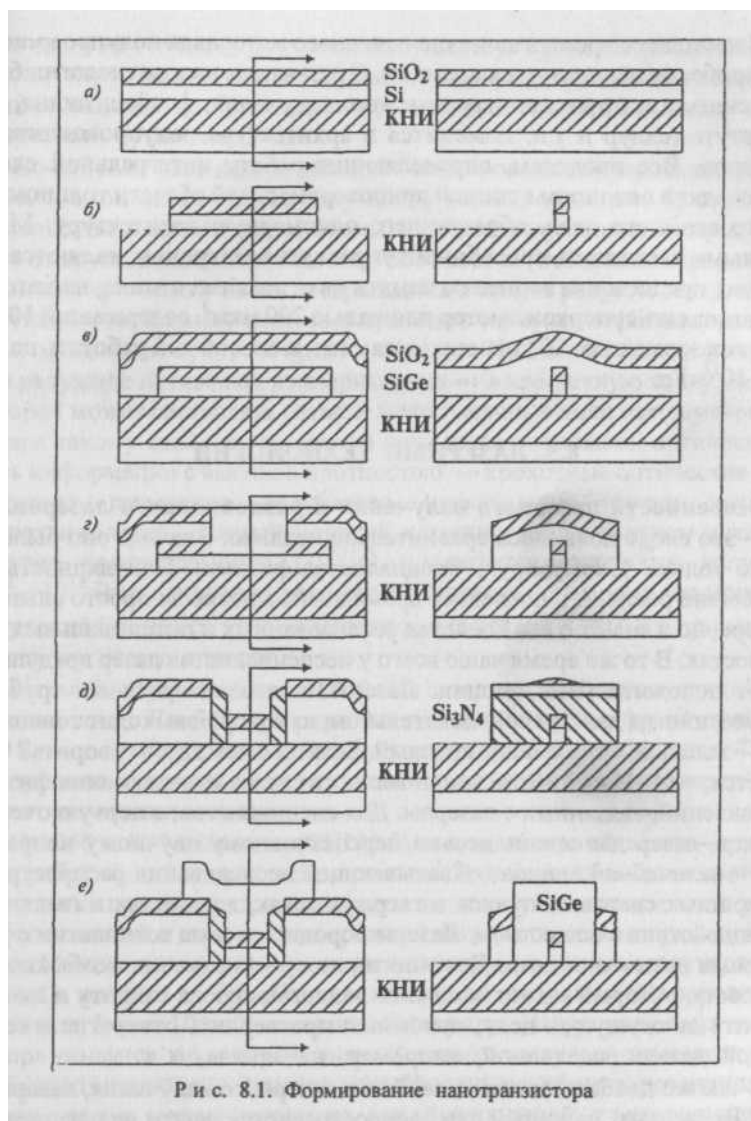
При разработке транзисторов открывались новые направления в полупроводниковой электронике. Одно из них связано с разработкой полевого транзистора, выполняющего функцию резистора, управляемого напряжением. Типичный полевой транзистор имеет структуру металл—окисел—полупроводник и носит название *МОП-транзистор*. Предполагается, что модифицированная технология МОП-транзисторных схем будет применяться для создания гигантских интегральных схем.

Переход к сравнительно малым размерам элементов требует принципиально нового подхода. С уменьшением размеров элементов приходится отказаться от традиционных технологических операций. Так как длина волны света препятствует миниатюризации, фотолитография заменяется электронной, ионной и рентгеновской литографией. На смену диффузионных процессов приходят ионная и электронно-стимулированная имплантация. Термическое испарение и отжиг материала вытесняются ионно-лучевой, ионно-плазменной, электронно-лучевой обработкой. Появилась возможность локального воздействия на поверхность полупроводникового кристалла.

Технологический процесс создания современного нанотранзистора весьма сложен: он начинается с операции осаждения тонкопленочных слоев кремния на изоляторе (КНИ), кремния и двуокиси кремния (рис. 8.1, *a*) и заканчивается формированием многослойной структуры (рис. 8.1, *e*).

Цр недавнего времени технология основывалась на удалении лишнего материала из заготовки, подобно тому как скульптор удаляет куски мрамора, создавая задуманный образ. На смену ей постепенно приходит *молекулярно-инженерная технология*, позволяющая создавать электронные схемы из отдельных атомов по аналогии с тем, как дом складывают из кирпичиков. Уже сейчас такая технология применяется в производстве приборов на молекулярных пленках, в молекулярно-лучевой эпитаксии, ионно-зондовой, электронно-стимулированной управляемой имплантации и т.п. Использование лучевых методов (электронно-лучевого, ионно-лучевого, рентгеновского) позволяет получать элементы с размерами до 10—25 нм. Переход в нанометровый диапазон требует решения фундаментальных вопросов, связанных с новыми физическими принципами работы приборов и ограничениями, свойственными планарным процес-

350



сам. В результате взаимодействия ускоренных пучков ионов с веществом можно направленно изменять их физико-химические свойства, что позволяет получать тонкопленочные элементы с заданными локальными характеристиками. Сфокусированные ионные потоки — это уникальный инструмент для прецизионной обработки различных материалов.

В настоящее время в качестве основного материала полупроводниковых приборов используется кремний. С развитием нанотехнологии будут применяться и другие материалы: арсенид галлия, фосфид индия, кадмий-ртуть-теллур и т.п. Изменится и архитектура полупроводниковых приборов. Все процессы, определяющие работу интегральной схемы, происходят в основном в тонкой приповерхностной области толщиной до одного атомного слоя, образующего одномерную архитектуру. Минимальными частицами, способными управлять электроном, являются атомы. Уже предложены элементы памяти на отдельных атомах, на которых можно создать суперкомпьютер площадью 200 мкм^2 , содержащий 10 логических элементов, 10^9 элементов памяти, и способный работать на частоте 10^{12} Гц.

8.5. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Особенности лазерного излучения и разновидности лазеров. Лазер — это слово появилось сравнительно недавно. Вначале оно было известно только узкому кругу специалистов-физиков. Популярность его постепенно росла. А в последнее время очень многие не просто слышали о лазере, но и знают о его больших реализованных и потенциальных возможностях. В то же время чаще всего у неспециалистов лазер вряд ли вызывает положительные эмоции. Лазер? Ничего интересного: трубка в корпусе, иногда даже непривлекательном, из которой выходит тоненький луч — зеленый, синий, чаще красный. Есть ли о чем здесь говорить? Оказывается, есть. И специалистам, и всем, кто далек от понимания физических явлений, связанных с лазером. Для специалистов, в первую очередь физиков, лазер дал жизнь весьма перспективному научному направлению — *нелинейной оптике*, охватывающей исследования распространения мощных световых пучков в твердых телах, жидкостях и газах и их взаимодействия с веществом. Лазеры породили новые технологии с уникальными возможностями. Для многих лазер — источник необыкновенного света, который может вылечить надвигающуюся слепоту и на лету поразить движущуюся цель, мгновенно просверлить отверстие в самой твердой детали, сделанной, например, из алмаза, и т. д.

В чем же необыкновенные свойства лазерного излучения, лазерного луча? Во-первых, лазерный луч распространяется, почти не расширяясь. Напомним: для того чтобы луч прожектора не расходился, используют большое вогнутое зеркало и систему линз, собирающие свет от источника в пучок. Это помогает, но мало: уже на расстоянии около километра от прожектора луч становится раза в два шире. Лазеру же собирающие зеркала и линзы чаще всего не нужны. Он и без них сам по себе излучает почти параллельный пучок света. Слово «почти» означает, что пучок лазер-

ного света не совсем параллельный: существует угол расхождения, но он сравнительно мал — около 10^{-5} рад, и тем не менее на больших расстояниях он ощутим: на Луне такой пучок, направленный с Земли, дает пятно диаметром примерно 3 км.

Во-вторых, свет лазера обладает исключительной монохроматичностью, т. е. он имеет только одну длину волны, один цвет. В отличие от обычных источников света, атомы которых излучают свет независимо друг от друга, в лазерах атомы излучают свет согласованно. Преломляясь в призме, луч белого света превращается в яркую радугу-спектр, а одноцветный, монохроматичный свет проходит через нее не разлагаясь. Линза тоже преломляет лучи, собирая их в фокусе. Но белый свет она фокусирует в радужное пятнышко, а лазерный луч — в крошечную точку, диаметр которой может составлять сотые и даже тысячные доли миллиметра. Благодаря такому свойству лазерного луча стала возможной оптическая запись информации с высокой плотностью — крохотные оптические диски вмещают громадное количество информации — сотни мегабайт. В-третьих, лазер — самый мощный источник света. В узком интервале спектра кратковременно ($\text{КГ}^{-1}\text{с}$) достигается мощность излучения 10^{12} — 10^{13} Вт с одного квадратного сантиметра, в то время как мощность излучения Солнца с той же площади равна только $7 \cdot 10^3$ Вт, причем суммарно по всему спектру.

Названные удивительные свойства лазерного излучения придали свету новое лицо. Еще на заре развития лазерной техники французский физик Луи де Бройль сказал: «Лазеру уготовано большое будущее. Трудно предугадать, где и как он будет применяться, но я думаю, что лазер — это целая техническая эпоха».

В 1960 г. Т. Мейманом (США) был создан первый лазер — рубиновый, работающий в импульсном режиме. В нем не вся энергия света лампы накачки преобразуется в лазерную вспышку. Большая ее часть уходит на бесполезный и даже просто вредный нагрев стержня и зеркального кожуха. Мощные импульсные лазеры охлаждают потоком воздуха, воды, а иногда и жидким азотом. Частота генерации импульсных лазеров может достигать более 10 млн. вспышек в секунду. Излучение таких лазеров воспринимается как непрерывное. Вспышка импульсного лазера имеет огромную мощность — тысячи ватт. Излучение, сфокусированное в крошечное пятно, можно применять для многих целей, о некоторых из них рассказано ниже. Но все-таки это короткий световой импульс. Конечно, им можно пробить отверстие, сварить две металлические проволоки и сделать много других полезных дел. Но для многих задач гораздо удобнее было бы иметь непрерывное лазерное излучение, скажем, для сварки или резки. Существует и такое излучение, его обеспечивают *газовые лазеры*. Газовый лазер был создан почти одновременно с рубиновым, в том же

1960 г. Он работал на смеси гелия и неона. Современные газовые лазеры работают на многих газах и парах. Все они дают непрерывное излучение в очень широком диапазоне длин волн: от ультрафиолетового до инфракрасного света.

Но на этих достижениях ученые не остановились. Был создан *газодинамический лазер*, похожий на реактивный двигатель. В его камере сгорания сжигается угарный газ (окись углерода) с добавкой топлива (керосина, бензина, спирта). Получившаяся при этом смесь газов состоит из углекислого газа, азота и паров воды. Пронесясь между зеркалами, молекулы газа излучают энергию в виде световых квантов, рождая лазерный луч мощностью 150—200 кВт. И это мощность не отдельной вспышки, а постоянного, устойчивого луча, сияющего, пока у лазера не кончится горючее.

Не только газовые, но *полупроводниковые лазеры* дают непрерывное излучение. Полупроводниковый лазер создал в 1962 г. американский ученый Р. Холл. На нем основана оптическая запись, о которой знают многие пользователи персональных компьютеров, державшие в руках *лазерный диск*, привлекательный не только своим внешним видом, но и своей информационной емкостью: на диске диаметром 12 см можно записать сотни тысяч страниц текста.

Среди полупроводниковых лазеров лучшим по праву считается лазер на основе арсенида галлия — соединения редкого элемента галлия с мышьяком. Его излучение не отличается большой мощностью. В настоящее время ведутся работы по созданию полупроводникового лазера, способного генерировать непрерывное излучение большой мощности.

Лазеры могут функционировать как на твердых телах, так и на газах. А можно ли построить лазер на жидкости? Оказалось, можно. Жидкости объединяют в себе достоинства и твердых, и газообразных материалов: плотность их всего в несколько раз ниже плотности твердых тел (а не в сотни тысяч раз, как плотность газов). Значит, *жидкостный лазер* легко сделать таким же мощным, как лазер твердотельный. Оптическая однородность жидкостей не уступает однородности газов, а значит, позволяет использовать большие ее объемы. К тому же жидкость можно прокачивать через рабочий объем, непрерывно поддерживая ее низкую температуру и высокую активность ее атомов.

Наиболее широкое распространение получили *лазеры на красителях*. Называются они так потому, что их рабочей жидкостью являются растворы анилиновых красителей в воде, спирте, кислоте и других растворителях. Жидкостные лазеры могут излучать импульсы света различной длины волны (от ультрафиолетового до инфракрасного света) и мощностью от сотен киловатт до нескольких мегаватт в зависимости от вида красителя. Разрабатываются *химические лазеры*, в которых атомы переходят в

возбужденное состояние при действии энергии накачки химических реакций. Большое внимание уделяется разработке мощных химических лазеров, преобразующих энергию химической реакции в когерентное излучение, и *атомному лазеру*, излучающему не свет, а пучок атомов.

Волоконно-оптическая связь. На пути использования лазерного луча встали трудности: как передать его? Возникла интересная идея: а если луч пустить по гибкой трубке с зеркальными стенками? Ее можно изогнуть как угодно, а луч света будет отражаться от стенок и идти вперед. Его можно пустить и по сплошному стеклянному стержню — толщиной в несколько тысячных миллиметра стеклянному волокну. Стеклянные волокна можно собирать в жгуты разной толщины, как медные проволоки в кабеле. Тонкие стеклянные нити довольно гибки: волоконный световод можно изгибать, завязывать узлом и вообще обращаться с ним, как с обычным электрическим проводом.

В настоящее время успешно развивается *волоконная оптика* — раздел оптики, изучающий процессы прохождения света и изображения по световодам и волноводам оптического диапазона. Передавать по ним можно не только отдельные лучи, но и целые картины. Гибкие волоконные световоды позволяют тщательно осматривать внутренние детали машин и механизмов, не разбирая их. По одному и тому же световоду можно направить излучение второго лазера (с другой длиной волны), третьего, четвертого. Каждый из них может нести свой сигнал. По одному волокну, по стеклянной нити чуть толще волоса можно одновременно передавать 32 000 телефонных разговоров или 60 цветных телевизионных программ! Сейчас уже созданы световоды, способные работать в тех же условиях, что и обычные провода. Они выдерживают большие колебания температуры, обледенение, порывы ветра. Их можно прокладывать в земле и натягивать на столбах. Огромная пропускная способность световодов позволяет создать сеть кабельного телевидения, работающего без помех и искажений.

И вот что интересно: природа умудрилась создать даже такое сложное устройство, как волоконный световод, да еще настроенный на определенную длину волны. Хозяин этого устройства — белый медведь. Американским ученым удалось установить, что каждая шерстинка его шкуры работает как оптическое волокно. Солнечный свет нагревает шерсть, а тепловые лучи идут по шерстинкам к коже, согревая зверя.

Волоконно-оптические кабели настолько удачно сочетаются с лазерным лучом, что их сразу же решили приспособить к передаче мощных пучков света, вроде тех, что используются в промышленности. Это было нелегко, но в конце концов был создан световод, по которому можно «перекачивать» энергию от мощного импульсного или непрерывного лазера.

Развитие лазерных технологий. Лазерные технологии по многообразию применений едва ли уступают охватившей в той или иной степени все основные сферы человеческой деятельности микроэлектронной технологии. Уникальная способность лазеров концентрировать световую энергию в пространстве, во времени и в спектральном интервале может быть использована двояко: во-первых, при нерезонансном взаимодействии мощных световых потоков с веществом в непрерывном и импульсном режимах, а во-вторых, при селективном воздействии на атомы, ионы и молекулы, вызывающем процессы фотодиссоциации, фотоионизации, фотохимической реакции. В этой связи возникли весьма перспективные быстро развивающиеся многоликие лазерные технологии, такие, как лазерная обработка материалов, лазерный термоядерный синтез, лазерная химия, лазерное воздействие на живую ткань, лазерная спектроскопия, лазерная связь и многие другие. Лазерный луч режет, сваривает, закаливает, сверлит, проверяет качество обработки деталей и производит множество других не менее важных операций. Обо всем этом рассказать невозможно, но кое о чем попытаемся.

Газовый лазер мощностью до 5 кВт, дающий инфракрасный луч, позволяет сваривать отдельные детали толщиной до 2 см. Шов при этом получается раза в четыре тоньше, чем при обычной электросварке, а электроэнергии тратится в три раза меньше! Лазер позволяет легко автоматизировать сварку, сваривать металлы, которые обычным способом соединить нельзя. Лучом лазера можно резать листовую сталь толщиной до 40 мм. Причем не просто резать, но и вырезать из стального листа детали самой причудливой формы. Для этого лазер делается подвижным. Его движением управляет ЭВМ. При этом экономится до 15% материала.

Лазерный луч может не только разрушать, но и упрочнять детали, закаливая их с поверхности. Стальная деталь при этом одевается закаленной «скорлупой», твердой и устойчивой к трению, хотя и довольно хрупкой. Если такой будет вся деталь, то от удара она может расколоться, как стеклянная. Но в том-то и дело, что ее сердцевина остается упругой и вязкой: лазерная вспышка не успевает ее прогреть. Деталь, обработанная лазером, устойчива и к ударам, и к трению, как знаменитый булат — гордость русских оружейников.

Лазер помогает сажать самолеты. Идеально прямые, яркие лучи разноцветных лазеров образуют в воздушном пространстве аэродрома разметку, по которой самолет может точно выйти на посадку. Но лазер способен не только облегчать жизнь здоровых людей, он может и лечить больных. *Лазер — хирург и терапевт.* Хирурги давно мечтали об инструменте, которым можно делать бескровные разрезы. Хорошо бы также, чтобы он был «понежнее». Ведь сегодня хирурги делают операции на сетчатке глаза и вторгаются в святая святых организма — человеческий

мозг. Орудовать там скальпелем — все равно что чинить часы топором. Современная техника предложила инструмент, сочетающий в себе очень многое, что необходимо хирургу, — световой луч.

Что может быть нежнее прикосновения луча света? Лазерным лучом можно сделать разрез шириной в тысячную долю миллиметра. В зависимости от энергии, которую он несет, и времени воздействия он может «заварить» кровеносный сосуд (медики говорят «коагулировать» его) или, наоборот, пробить в нем отверстие. Даже цвет луча оказался важен в хирургии. Кровь красная потому, что пропускает красные лучи, поглощая лучи всех других цветов. Поэтому рубиновый или гелий-неоновый лазер для «заваривания» сосудов не годится. А если использовать зеленый или синий лучи света, которые хорошо поглощаются кровью, можно добиться мгновенного образования сгустка крови, закупоривающего перерезанный сосуд. Такой свет дает аргонный лазер. Бывают случаи, когда нужно разрушить поврежденную ткань, не затрагивая близлежащих сосудов. Тогда применяют гелий-неоновый или криптоновый лазер; луч красного цвета пройдет сквозь кровеносные сосуды, «не заметив их», не принося им вреда, прямо в нужное место с поврежденной тканью.

Особенно удобен оказался *лазер в офтальмологии* — области медицины, ведающей зрением. Лазерный луч можно ввести в глаз прямо через зрачок. С его помощью можно отрезать ненужный сосуд, заварить тот, который протекает, и ликвидировать кровоизлияния. Сегодня после многолетней практики лечения с помощью лазерного луча можно твердо сказать, что лазерная хирургия глаза — на правильном пути.

Неописуемой красоты картины, нарисованные лазерными лучами, широко используются для оформления эстрадных концертов и театральных постановок. По-видимому, в ближайшем будущем специалист по лазерной оптике станет в театре столь же привычной фигурой, как гример или декоратор.

Голография и распознавание образов. Однажды в музей небольшого города привезли коллекцию старинных драгоценностей. В витринах, освещенных яркими лампами, стояли маленькие застекленные шкатулки, а в них драгоценными камнями и эмалью сверкали старинные ордена и броши, тускло отсвечивали золотые кольца и браслеты работы древних мастеров, золотые самородки причудливой формы. Маленькая комната скромного провинциального музея превратилась в сказочную пещеру, заваленную несметными сокровищами. Выставка была подготовлена Алмазным фондом. Посетители рассматривали драгоценности, восхищались мастерством ювелиров, дивились величине камней и их игре. Но вот настал вечер, посетители разошлись, и музей закрылся. Тогда заволновались сотрудники, дежурившие в зале: рабочий день закончился, почему же никто не приходит убирать драгоценности в сейф?! Стоимость не под-

дается оценке, а на окнах нет даже решеток, мало ли что! И тут в зал вошел электрик и повернул выключатель... Погасли лампы, и сразу пропали сияющие бриллианты, драгоценные эмали и золото. В витринах лежали листы стекла, мутного и как будто грязноватого. На выставке были не настоящие драгоценности, а фотопластинки с их изображениями! Но изображения эти не обычные, как на фотографиях, а объемные. Их можно рассмотреть с разных сторон и простым глазом, и в лупу. Их можно фотографировать. Вот только потрогать и унести их с собой нельзя. Способ записи такого объемного изображения носит название *голография*, а сами изображения и пластинки с их записью называются голограммами. В переводе с греческого «голография» означает «полная запись»: изображение на пластинке дает иллюзию настоящего предмета.

Если для получения голограммы взять параллельный пучок света, а для ее восстановления — расходящийся, то полученное изображение будет увеличенным. И тем сильнее, чем больше расходится луч. Осветив голограмму светом не той же длины волны, а в 2, 3, 7 раз более длинной, мы опять-таки получим изображение, увеличенное во столько раз, во сколько одна световая волна длиннее другой! Таким способом можно построить голографический микроскоп, к тому же дающий объемное изображение.

Получать изображение можно, разумеется, не только с объемных предметов, но и с плоских — букв, цифр, рисунков, фотографий. Это не означает, правда, что обычная плоская фотография после голографирования приобретет объемность. Нет, это делается для того, чтобы можно было автоматизировать и другой, тоже важный процесс — *распознавание образов*. Распознать нужный образ среди других, значит, сравнить все их с эталоном, выбрать один-единственный, идентичный ему. Задача эта порой бывает очень сложна, требует опытного глаза и длительного навыка. Проверьте, например, сколько времени у вас уйдет, чтобы в толпе фигурок на рисунке опознать две одинаковые. Признаков, по которым они сравниваются, всего пять-шесть. А если их будет тридцать—сорок? Задача становится неизмеримо сложнее и кажется, что она не может быть решена при помощи машины. Но оказалось, что и в этом нелегком деле может помочь лазер.

Поставим на пути лазерного луча проверяемый кадр с запечатленными на нем образами (например, микрофотографию с изображением двух-трех сотен микробов), затем голограмму эталона, потом — экран. Будем менять диапозитивы: первый, второй, третий — экран остается темным. Но вдруг на нем справа, сверху появилось яркое пятно. Это означает, что в правом верхнем углу кадра находится искомый образ! Если он в кадре не один, то и точек на экране будет несколько. Проверяемый кадр может быть не только диапозитивом. Поиск образов можно вести и на ри-

сунке, и на экране телевизора, в поле зрения микроскопа и даже просто в пространстве, освещенном лазерным светом. Вместо экрана ставится светочувствительный датчик, который срабатывает при появлении светового пятна и отмечает найденное изображение. На поиск при помощи голографии затрачивают в десятки тысяч раз меньше времени, чем при поиске вручную. Таким способом можно вести поиск любых образов при любом их числе, и даже не по целому образу, а по его фрагменту, небольшому кусочку. Такое изображение, восстановленное по фрагменту, называется *фантомным* (от французского слова «привидение», «призрак»).

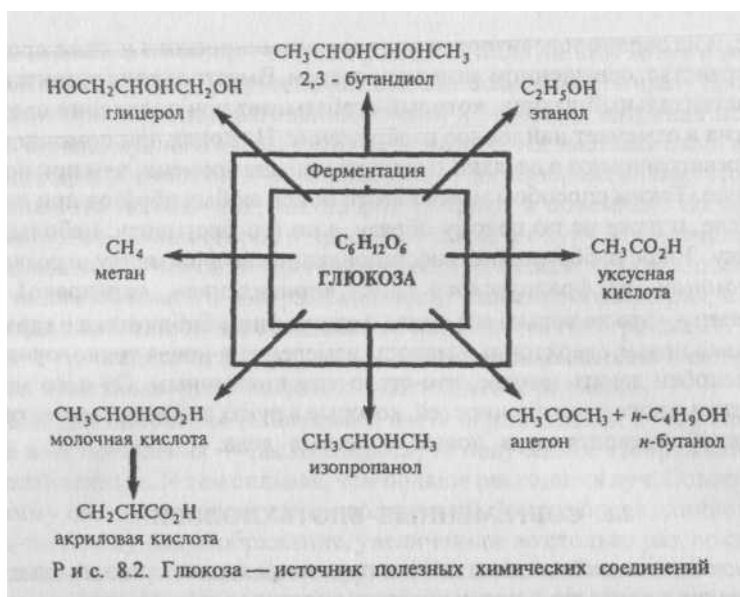
Лазер — это не только объемная фотография и библиотека в кармане, не только новые сверхточные методы измерения и новая технология. Лазер способен давать многое, что стало уже привычным. От него можно ожидать и много неожиданностей, которые в руках пытливых естествоиспытателей превратятся в новые полезные дела.

8.6. СОВРЕМЕННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ

Биотехнологии основаны на использовании живых организмов и биологических процессов в промышленном производстве. На их базе освоено массовое производство искусственных белков, питательных и многих других веществ. Успешно развивается микробиологический синтез ферментов, витаминов, аминокислот, антибиотиков и т.п. С применением генных технологий и естественных биоорганических материалов синтезируются биологически активные вещества — гормональные препараты и соединения, стимулирующие иммунитет.

Для увеличения производства продуктов питания нужны искусственные вещества, содержащие белки, необходимые для жизнедеятельности живых организмов. Благодаря важнейшим достижениям биотехнологии в настоящее время производится множество искусственных питательных веществ, по многим свойствам превосходящих продукты естественного происхождения.

Современная биотехнология позволяет превратить отходы древесины, соломы и другое растительное сырье в ценные питательные белки. Она включает процесс гидролиза промежуточного продукта — целлюлозы — и нейтрализацию образующейся глюкозы с введением солей. Полученный раствор глюкозы представляет собой питательный субстрат микроорганизмов — дрожжевых грибов. В результате жизнедеятельности микроорганизмов образуется светло-коричневый порошок — высококачественный пищевой продукт, содержащий около 50% белка-сырца и различные витамины. Питательной средой для дрожжевых грибов могут служить и такие содержащие сахар растворы, как паточная барда и сульфитный щелок, образующийся при производстве целлюлозы.



Некоторые виды грибов превращают нефть, мазут и природный газ в пищевую биомассу, богатую белками. Так, из 100 т неочищенного мазута можно получить 10 т дрожевой биомассы, содержащей 5 т чистого белка и 90 т дизельного топлива. Столько же дрожжей производится из 50 т сухой древесины или 30 тыс. м³ природного газа. Для производства данного количества белка потребовалось бы стадо коров из 10 000 голов, а для их содержания нужны огромные площади пахотных земель. Промышленное производство белков полностью автоматизировано, и дрожжевые культуры растут в тысячи раз быстрее, чем крупный рогатый скот. Одна тонна пищевых дрожжей позволяет получить около 800 кг свинины, 1,5–2,5 т птицы или 15–30 тыс. яиц и сэкономить при этом до 5 т зерна.

Некоторые виды биотехнологий включают процессы брожения. Спиртовое брожение известно еще в каменном веке — в древнем Вавилоне варили около 20 сортов пива. Много столетий назад началось массовое производство алкогольных напитков. Еще одно важное достижение в микробиологии — разработка в 1947 г. пенициллина. Двумя годами позже на основе глутаминовой кислоты путем биосинтеза впервые получены аминокислоты. К настоящему времени налажено производство антибиотиков, витаминно-белковых добавок к продуктам питания, стимуляторов роста, бактериологических удобрений, средств защиты растений и др.

С использованием рекомбинантных ДНК удалось синтезировать ферменты и тем самым расширить их область применения в биотехнологии. Появилась возможность производить множество ферментов при сравни-

тельно невысокой их себестоимости. Под воздействием искусственных ферментов кукурузный крахмал превращается в глюкозу, которая затем преобразуется в фруктозу. Так, в США ежегодно производится более 2 млн. т кукурузной патоки с высоким содержанием фруктозы. Процесс ферментации применяется в производстве этилового спирта. Кукурузный и пшеничный крахмал и сахар вполне пригодны для ферментации. Они легко превращаются в глюкозу. Известны микроорганизмы, перерабатывающие глюкозу во многие полезные химические продукты (рис. 8.2). Однако чаще такое растительное сырье потребляется в качестве пищевых продуктов. Для ферментации можно использовать биомассу в виде отходов сельского и лесного хозяйств. Однако она содержит *лигнин*, препятствующий биокаталитическому расщеплению и ферментации целлюлозных компонентов. Поэтому природную биомассу необходимо предварительно очистить от лигнина.

Дальнейшее развитие биотехнологий связано с модификацией генетического аппарата живых организмов.

8.7. ГЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Генные технологии основаны на методах молекулярной биологии и генетики, связанных с целенаправленным конструированием новых, не существующих в природе сочетаний генов. Генные технологии зародились в начале 70-х годов XX в. как методы рекомбинантных ДНК, названные генной инженерией. Основная операция генной технологии заключается в извлечении из клеток организма гена, кодирующего нужный продукт, или группы генов и соединение их с молекулами ДНК, способными размножиться в клетках другого организма. На начальной стадии развития генных технологий был получен ряд биологически активных соединений — инсулин, интерферон и др. Современные генные технологии объединяют химию нуклеиновых кислот и белков, микробиологию, генетику, биохимию и открывают новые пути решения многих проблем биотехнологии, медицины и сельского хозяйства.

Основная цель генных технологий — видоизменить ДНК, закодирав ее для производства белка с заданными свойствами. Современные экспериментальные методы позволяют анализировать и идентифицировать фрагменты ДНК и генетически видоизмененной клетки, в которые введена нужная ДНК. Над биологическими объектами осуществляются целенаправленные химические операции, что и составляет основу генных технологий.

Генные технологии привели к разработке современных методов анализа генов и геномов, а они, в свою очередь, — к синтезу, т.е. к конструированию новых, генетически модифицированных микроорганизмов. К

настоящему времени установлены нуклеотидные последовательности разных микроорганизмов, включая промышленные штаммы, и те, которые нужны для исследования принципов организации геномов и для понимания механизмов эволюции микробов. Промышленные микробиологи, в свою очередь, убеждены, что знание нуклеотидных последовательностей геномов промышленных штаммов позволит «программировать» их на то, чтобы они приносили большой доход.

Клонирование эукариотных (ядерных) генов в микробах и есть тот принципиальный метод, который привел к бурному развитию микробиологии. Фрагменты геномов животных и растений для их анализа клонируют именно в микроорганизмах. Для этого в качестве молекулярных векторов — переносчиков генов — используют искусственно созданные плазмиды, а также множество других молекулярных образований для выделения и клонирования.

С помощью молекулярных проб (фрагментов ДНК с определенной последовательностью нуклеотидов) можно определять, скажем, заражена ли донорская кровь вирусом СПИДа. А генные технологии для идентификации некоторых микробов позволяют следить за их распространением, например внутри больницы или при эпидемиях.

Генные технологии производства вакцин развиваются в двух основных направлениях. Первое — улучшение уже существующих вакцин и создание комбинированной вакцины, т.е. состоящей из нескольких вакцин. Второе направление — получение вакцин против болезней: СПИДа, малярии, язвенной болезни желудка и др.

За последние годы генные технологии значительно улучшили эффективность традиционных штаммов-продуцентов. Например, у грибного штамма-продуцента антибиотика цефалоспорины увеличили число генов, кодирующих экспандазу, активность которой задает скорость синтеза цефалоспорины. В итоге выработка антибиотика возросла на 15—40%.

Проводится целенаправленная работа по генетической модификации свойств микробов, используемых в производстве хлеба, сыроварении, молочной промышленности, пивоварении и виноделии, чтобы увеличить устойчивость производственных штаммов, повысить их конкурентоспособность по отношению к вредным бактериям и улучшить качество конечного продукта.

Генетически модифицированные микробы приносят пользу в борьбе с вредными вирусами и микробами и насекомыми. Вот примеры. В результате модификации тех или иных растений можно повысить их устойчивость к инфекционным болезням. Так, в Китае устойчивые к вирусам табак, томаты и сладкий перец выращивают уже на больших площадях. Известны трансгенные томаты, устойчивые к бактериальной инфекции, картофель и кукуруза, устойчивые к грибкам.



В настоящее время трансгенные растения промышленно выращиваются в США, Аргентине, Канаде, Австрии, Китае, Испании, Франции и других странах. С каждым годом увеличиваются площади под трансгенными растениями (рис. 8.3). Особенно важно использовать трансгенные растения в странах Азии и Африки, где наиболее велики потери урожая от сорняков, болезней и вредителей и в то же время больше всего не хватает продовольствия.

Не приведет ли широкое внедрение в практику генных технологий к появлению еще не известных эпидемиологам заболеваний и других нежелательных последствий? Практика показывает, что генные технологии с начала их развития по сей день, т.е. в течение более 30 лет, не принесли ни одного отрицательного последствия. Более того, оказалось, что все рекомбинантные микроорганизмы, как правило, менее вирулентны, т.е. менее болезнетворны, чем их исходные формы. Однако биологические феномены таковы, что о них никогда нельзя с уверенностью сказать: этого никогда не случится. Более правильно говорить так: вероятность того, что это случится, очень мала. И тут как, безусловно, положительное, важно отметить, что все виды работ с микроорганизмами строго регламентированы, и цель такой регламентации — уменьшить вероятность распространения инфекционных агентов. Трансгенные штаммы не должны содержать генов, которые после их переноса в другие бактерии смогут дать опасный эффект.

8.8. ПРОБЛЕМА КЛОНИРОВАНИЯ

Родился ягненок, генетически неотличимый от особи, давшей соматическую клетку. Может быть, соматическая клетка человека способна породить новый полноценный организм. Клонирование человека — это шанс иметь детей для тех, кто страдает бесплодием; это банки клеток и тканей, запасные органы взамен тех, что приходят в негодность; наконец, это возможность передать потомству не половину своих генов, а весь геном — воспроизвести ребенка, который будет копией одного из родителей. Вместе с тем остается открытым вопрос о правовом и нравственном аспекте данных возможностей. Подобного рода доводами в 1997—1998 гг. были переполнены различные источники массовой информации во многих странах.

По принятому в науке определению, *клонирование* — это точное воспроизведение того или иного живого объекта в каком-то количестве копий. Воспроизведенные копии обладают идентичной наследственной информацией, т.е. имеют одинаковый набор генов.

В ряде случаев клонирование живого организма не вызывает особого удивления и относится к отработанной процедуре, хотя и не такой уж простой. Генетики получают клоны, когда используемые ими объекты размножаются посредством партеногенеза — бесполом путем, без предшествующего оплодотворения. Естественно, те особи, которые развиваются из той или иной исходной половой клетки, будут в генетическом отношении одинаковыми и могут составить клон. В нашей стране блестящие работы по подобному клонированию выполняют на шелкопряде.

Выведенные клоны шелкопряда отличаются высокой продуктивностью по выработке шелка и славятся на весь мир.

Однако речь идет о другом клонировании — о получении точных копий, например, коровы с рекордным надоем молока или гениального человека. Вот при таком клонировании и возникают весьма и весьма большие сложности.

Еще в далекие 40-е годы XX в. российский эмбриолог Г.В. Лопашов разработал метод пересадки (трансплантации) ядер в яйцеклетку лягушки. В июне 1948 г. он отправил в «Журнал общей биологии» статью, написанную по материалам своих экспериментов. Однако, на его беду, в августе 1948 г. состоялась печально известная сессия ВАСХНИЛ, по воле партии утвердившая беспредельное господство в биологии агронома Т.Д. Лысенко (1898—1976), создателя псевдонаучного учения, и набор статьи Лопашова, принятой к печати, был рассыпан, поскольку она доказывала ведущую роль ядра и содержащихся в нем хромосом в индивидуальном развитии организмов. Работу Лопашова забыли, а в 50-е годы XX в. американские эмбриологи Бриггс и Кинг выполнили сходные опыты, и приоритет достался им, как иногда случалось в истории российской науки.

В феврале 1997 г. сообщалось о том, что в лаборатории шотландского ученого Яна Вильмута в Рослинском институте (Эдинбург) разработан эффективный метод клонирования млекопитающих и на его основе родилась овца Долли. Говоря доступным языком, овца Долли не имеет отца — ей дала начало клетка матери, содержащая двойной набор генов. Известно, соматические клетки взрослых организмов содержат полный набор генов, а половые клетки — только половину. При зачатии обе половинки — отцовская и материнская — соединяются и рождается новый организм.

Как же производился опыт в лаборатории Яна Вильмута? Вначале выделялись ооциты, т.е. яйцеклетки. Их извлекли из овцы породы Шотландская черномордая, затем поместили в искусственную питательную среду с добавлением эмбриональной телячьей сыворотки при температуре 37 °С и провели операцию энуклеации — удаления собственных ядер. Следующая операция заключалась в обеспечении яйцеклетки генетической информацией от организма, который надлежало клонировать. Для этого наиболее удобными оказались диплоидные клетки донора, т.е. клетки, несущие полный генетический набор, которые были взяты из молочной железы взрослой беременной овцы. Из 236 опытов успешным оказался лишь один — и родилась овечка Долли, несущая генетический материал взрослой овцы. После этого в различных средствах информации стала обсуждаться проблема клонирования человека.

Некоторые ученые считают, что фактически невозможно вернуть изменившиеся ядра соматических клеток в исходное состояние, чтобы

они могли обеспечить нормальное развитие той яйцеклетки, в которую их трансплантировали, и на выходе дать точную копию донора. Но даже если все проблемы удастся решить и все трудности преодолеть (хотя это маловероятно), клонирование человека нельзя считать научно обоснованным. Действительно, допустим, что трансплантировали развивающиеся яйцеклетки с чужеродными донорскими ядрами нескольким тысячам приемных матерей. Именно нескольким тысячам: процент выхода низкий, а повысить его, скорее всего, не удастся. И все это для того, чтобы получить хотя бы одну-единственную рожденную живую копию какого-то человека, пусть даже гения. А что будет с остальными зародышами? Ведь большая их часть погибнет в утробе матери или разовьется в уродов. Представляете себе — тысячи искусственно полученных уродов! Это было бы преступлением, поэтому вполне естественно ожидать принятия закона, запрещающего такого рода исследования как в высшей степени аморальные. Что касается млекопитающих, то рациональнее проводить исследования по выведению трансгенных пород животных, генотерапии и т.п.

Контрольные вопросы

1. Что такое технология?
2. В чем различие естественно-научных знаний и технологий?
3. Что представляют собой современные информационные технологии?
4. Для чего нужна унификация информационных технологий?
5. Какова история развития вычислительных средств?
6. Охарактеризуйте поколения электронных вычислительных машин и их функциональные возможности.
7. Назовите характеристики первых отечественных ЭВМ.
8. Назовите параметры самого мощного суперкомпьютера.
9. В чем заключается ограниченность возможностей персональных компьютеров?
10. Каковы возможные пути повышения информационной плотности записи?
11. Как устроен Интернет и каковы его возможности?
12. Где применяются вычислительные средства?
13. Приведите цифры, характеризующие объем накапливаемой человечеством информации.
14. Каковы сходства и различия между памятью человека и памятью ЭВМ?
15. Как можно повысить информационную плотность записи?
16. От чего зависит качество записи и воспроизведения звука и изображения?
17. Охарактеризуйте топографическую память.
18. Что такое нейронные сети?
19. При каких условиях мультимедийные системы способствуют развитию интеллекта?
20. Дайте краткую характеристику микроэлектронных и наноэлектронных технологий.
21. Назовите основные этапы развития твердотельной электроники.
22. Охарактеризуйте способы повышения степени интеграции.
23. Какой закономерности подчиняется темп роста числа элементов интегральных схем?

24. Какие операции составляют основу нанотехнологий?
25. Назовите основные особенности лазерного излучения.
26. В чем заключается специфика работы различных лазеров?
27. Как осуществляется волоконно-оптическая связь?
28. Где применяются лазерные технологии?
29. В чем сущность голографического изображения?
30. Что такое распознавание образов?
31. На чем основаны биотехнологии?
32. Поясните механизм превращения растительных отходов в ценные продукты.
33. В чем заключается метод иммобилизации ферментов?
34. Из каких операций состоит генная технология?
35. Приведите примеры, подтверждающие реальную пользу от генных технологий.
36. В чем заключается потенциальный риск при внедрении в практику генных технологий?
37. Что такое клонирование?
38. К каким последствиям может привести, клонирование человека?

9. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

9.1. ЭНЕРГИЯ — ИСТОЧНИК БЛАГОСОСТОЯНИЯ

Слово «энергия» в переводе с греческого означает действие, деятельность. Согласно современным представлениям, *энергия — это общая количественная мера разных форм движения материи*. Различают механическую, тепловую, химическую, ядерную и другие виды энергии. Превращение энергии из одного вида в другой подчиняется фундаментальному закону сохранения, из которого следует невозможность создания вечного двигателя. В большинстве случаев полезная работа совершается только в результате определенных изменений состояния материальных систем (горения топлива, падения воды и т.п.). Работоспособность системы, т.е. способность ее совершать определенную работу при переходе из одного состояния в другое, определяется энергией. Благодаря потреблению энергии движется транспорт, улетают в космос ракеты, готовится пища, обогреваются жилища, освещаются улицы и т.д.

В природе существует множество форм энергии: ею обладают люди и животные, камни и растения, ископаемое топливо и деревья, реки и озера, Мировой океан, атмосфера, земные недра, Солнце, атомные ядра и т.п. (рис. 9.1). Несмотря на огромное разнообразие форм энергии, для ее производства используются в основном три вида источников: ископаемое топливо (нефть, природный газ, уголь), ядерное топливо и восстанавливаемые источники: вода, ветер, Солнце (рис. 9.2).

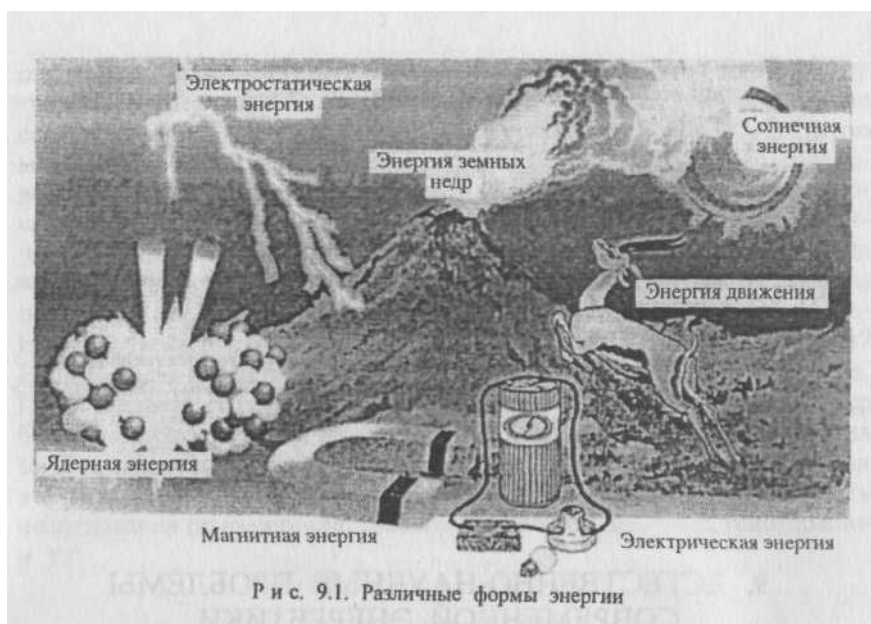
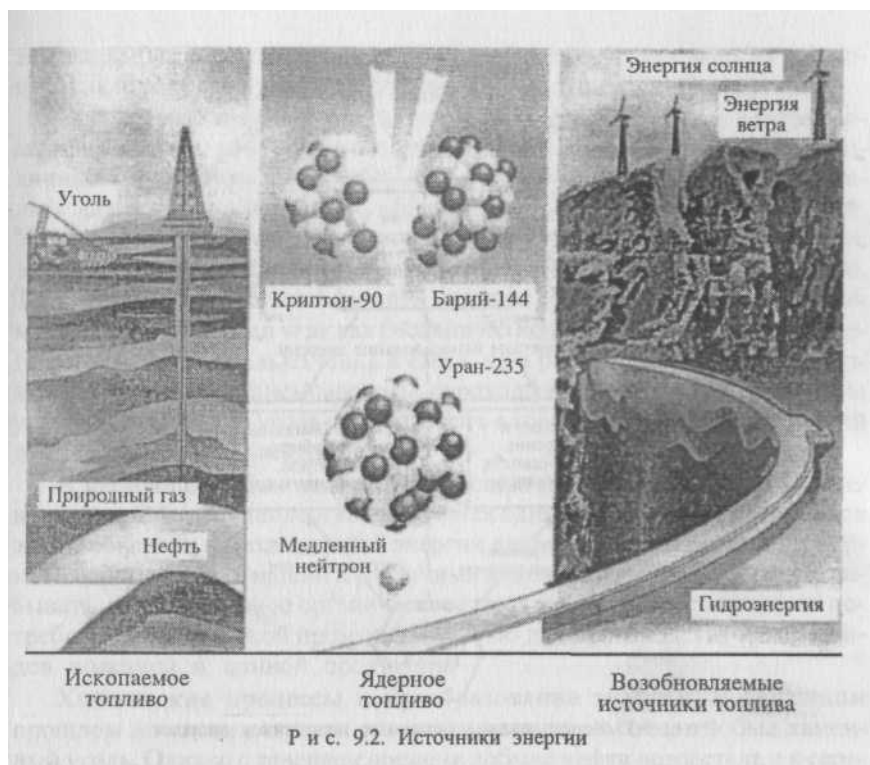


Рис. 9.1. Различные формы энергии

Развитие экономики, уровень благосостояния людей находятся в прямой зависимости от количества потребляемой энергии. Многие виды трудовой деятельности основаны на потреблении энергии. Для добычи руды, выплавки из нее металла, для строительства дома и т.д. — везде нужна энергия. Энергетические потребности постоянно растут, потребителей энергии становится все больше — все это приводит к необходимости увеличения объемов производимой энергии.

Природные энергоресурсы — один из основных источников процветания жизни. В качестве примера можно назвать нефть, добываемую в Арабских Эмиратах. Эту когда-то отсталую страну нефтяные энергоресурсы вывели на современный уровень развития. Построены большие города, по внешнему облику и инфраструктуре очень похожие на многие города такой развитой страны, как США. Проезжая, например, по городу Абу-Даби — столице Арабских Эмиратов, утопающей в ковровой зелени и многокрасочных цветах, — трудно поверить, что этот город, как и многие другие города Эмиратов, вырос на пустынной земле, сквозь песчаную толщу которой с большим трудом пробивается верблюжья колючка. Такие города — эдемские уголки Арабских Эмиратов — выросли очень быстро, за каких-то двадцать—тридцать лет. Было бы ошибочно думать, что только благодаря нефти — основному источнику энергии можно преобразовать пустынную землю. Продуманное государственное управление вместе с хорошо отлаженной системой образования, включающей ре-

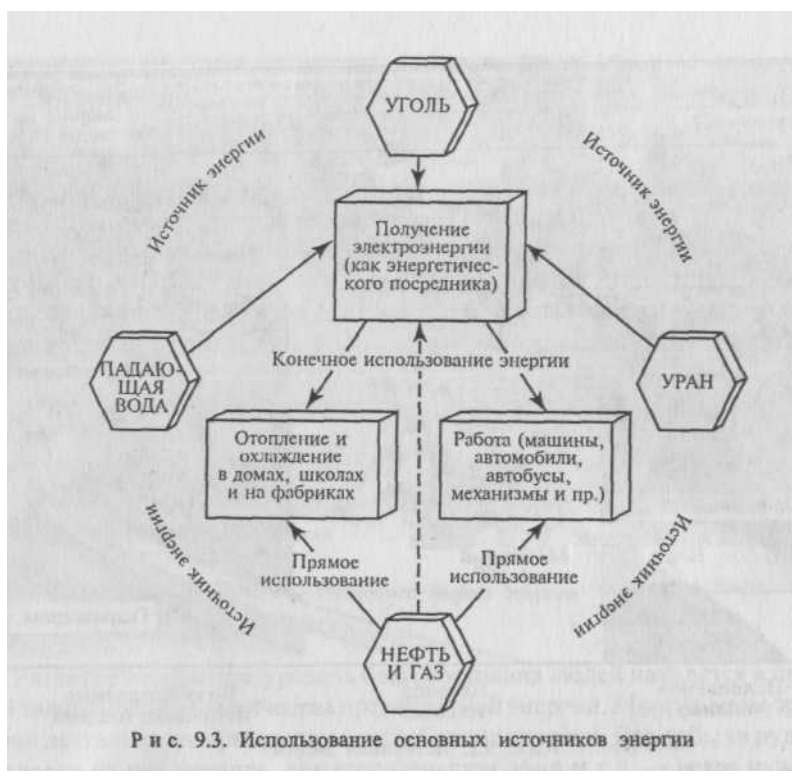


лигиозное воспитание, играют при этом не менее важную роль в развитии Арабских Эмиратов.

Очевидно, невозобновляемые энергоресурсы: нефть, газ, уголь — не-безграничны. В естественных условиях они формировались сотни мил-лионов лет, а будут исчерпаны в течение десятков—сотен лет при совре-менных темпах их потребления. Поэтому наряду с рациональным исполь-зованием энергии необходимо искать ее новые виды источников и повы-шать эффективность преобразования и потребления энергии.

9.2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Способы преобразования энергии. Потребляемая энергия произво-дится в результате преобразования других видов энергии. Существуют три основных способа ее преобразования. Первый из них заключается в получении тепла при сжигании топлива (ископаемого или растительного) и потреблении его для обогрева жилых домов, школ, предприятий и



т.п. Второй способ — преобразование заключенной в топливе тепловой энергии в механическую работу, например при сжигании продуктов нефти для обеспечения движения различного оборудования, автомобилей, тракторов, поездов, самолетов и т.д. Третий способ — преобразование тепла, выделяемого при сгорании топлива или деления ядер, в электрическую энергию с последующим ее потреблением для различных целей. Электроэнергия производится и при преобразовании энергии падающей воды, ветра, Солнца и т.п. Она играет роль своеобразного посредника между источниками энергии и его потребителями (рис. 9.3). Как деятельность посредника на рынке ведет к повышению цен, так и потребление энергии в форме электричества приводит к росту цен из-за потерь при преобразовании одного вида энергии в другой. В то же время в ряде случаев просто невозможно эффективно использовать энергию, не превратив ее в электрическую. До открытия электричества энергия падающей воды (гидроэнергия) приводила в движение прядильные машины, мельницы, лесопилки и т.д. После преобразования гидроэнергии в электрическую сфера ее применения значительно расширилась: стало возможным потребление ее на

значительных расстояниях от источника. Электрическая энергия как посредник играет важную роль и при преобразовании ядерной энергии.

Ископаемые виды топлива в отличие от гидроисточников долгое время применялись лишь для отопления и освещения, а не для работы различных механизмов. Дрова и уголь, нередко и высушенный торф сжигались для обогрева жилых, общественных и промышленных зданий. Уголь, кроме того, применялся и применяется для выплавки металла. Угольное масло, полученное путем перегонки угля, заливалось в лампы. Только после изобретения паровой машины в XVIII в. был по-настоящему раскрыт потенциал угля как бесценного ископаемого топлива, ставшего источником не только тепла и света, но и работы различных механизмов и машин. Появились паровозы, пароходы с паровыми двигателями на угле. В начале XX в. уголь стали сжигать в топках котлов электростанций для производства электроэнергии.

В настоящее время ископаемое топливо играет исключительно важную роль. Оно дает тепло и свет, является одним из основных источников электроэнергии и механической энергии для обеспечения огромного парка многочисленных машин и различных видов транспорта. Не следует забывать, что ископаемое органическое сырье в огромных количествах потребляется химической промышленностью для производства многих видов полезной и ценной продукции.

Химические процессы и преобразование энергии. В недалеком прошлом во многих странах основным источником энергии был каменный уголь. Однако с течением времени добыча нефти возросла и к середине XX в. потребление нефти и угля сравнялось. Трехкратное увеличение населения в XX в. сопровождалось приблизительно десятикратным увеличением потребления всех видов энергии.

Химические процессы — сжигание нефти, природного газа и угля — обеспечивают производство значительного объема энергии во всем мире. Световая и тепловая энергии преобразуются в электрическую также путем химических превращений. Химические технологии лежат в основе создания высококачественных теплоносителей и термостойких материалов для современных энергетических установок. Следовательно, прогресс в развитии энергетики во многом зависит от достижений современной химии.

Первой энергетической установкой промышленного масштаба была паровая машина, созданная во второй половине XVIII в. английским изобретателем Джеймсом Уаттом (1736—1819). Тепловая энергия в ней превращалась в механическую работу. С паровой машиной долгое время конкурировало водяное колесо. Гораздо позднее — к середине XIX в. — была создана гальваническая батарея — первый источник электрического тока. В поисках более эффективных источников тока для телеграфной



связи в 1866 г. немецкий электроник Вернер Сименс (1816—1892) изобрел динамомашину — генератор тока, ставший отправной точкой для новых исследований и разработок многочисленных источников электрического тока. Электроэнергия в те времена производилась в небольших количествах и была слишком дорогой. Так, например, алюминий и магний, полученные электрохимическим путем в середине XIX в., стоили дороже золота и платины. С модернизацией генератора электрического тока энергия постепенно дешевела, что способствовало бурному развитию химической промышленности.

При превращении электрической энергии в тепловую была достигнута довольно высокая температура — около 3500 °С, что ранее не удавалось получить никакими другими способами. Это позволило выплавить в чистом виде многие металлы и синтезировать не существующие в природе соединения металлов с углеродом — карбиды. Кроме того, на химических заводах стало осуществляться электрохимическое разложение вещества в крупных промышленных масштабах. Применение электрического тока способствовало развитию разных отраслей химической промышленности, производящей многообразные синтетические неорганические материалы.

В настоящее время химическая промышленность — одна из самых энергоемких отраслей. Количество энергии, необходимое для промышленного производства различной продукции, зависит от ее вида, что наглядно представлено на рис. 9.4, где даны энергозатраты Q , выраженные в тоннах природной нефти на 1 т продукта. Например, для производства 1 т карбида кальция или хлора требуется не менее 3500 кВт · ч на электроэнергию. Расход электроэнергии на производство алюминия и магния составляет 14—18 кВт · ч на 1 т. В общих затратах на производство многих видов промышленной продукции на долю электроэнергии приходится 18—25%. Для карбида кальция затраты на электроэнергию составляют почти половину его себестоимости, для поливинилхлорида и полиэтилена 35—50%, для ацетальдегида 45—70%. С каждой тонной азотного удобрения в землю «закапывается» почти 14 000 кВт · ч энергии.

Быстрое развитие химической промышленности и материального производства вообще требует не только роста выработки электроэнергии, но все в большей степени ее рационального потребления.

9.3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Долгое время невысокая эффективность преобразования тепловой энергии в полезную работу связывалась с несовершенством самого механизма преобразования. С развитием термодинамики стало ясно, что существует принципиальное ограничение полного преобразования всей тепловой энергии в полезную работу. Такое ограничение следует из фундаментальных законов термодинамики и обуславливается необратимостью тепловых процессов. К настоящему времени значительная часть всевозможных усовершенствований, направленных на повышение эффективности производства электроэнергии с использованием пара, в основном уже осуществлена. Если КПД первых паровых машин составлял 2—5%, то КПД современных энергетических систем — тепловых электростанций, работающих на том или ином виде топлива и вырабатывающих пар для последующего преобразования его энергии посредством турбогенератора в электрическую, составляет более 40%. Атомные электростанции также вырабатывают пар, подаваемый в турбогенераторы. Их КПД не превышает 32%, а это означает, что только 32% тепловой энергии, выделяющейся при делении урана, преобразуется в электрическую.

Производство электрической энергии даже с применением современных энергетических систем сопровождается большими потерями тепла. Особенно велики потери тепла, когда электрическая энергия снова преоб-

разуется в тепло либо другие виды энергии на месте потребления. Существенными потерями сопровождается и передача электроэнергии, особенно на большие расстояния. В последние десятилетия ведутся работы по синтезу электропроводящих материалов проводников для передачи электроэнергии с минимальными потерями. Уже синтезированы высокотемпературные сверхпроводящие материалы. Однако для передачи электроэнергии нужны такие проводники, сверхпроводящее свойство которых проявлялось бы не при низких, а при обычных температурах.

К большим потерям приводит и потребление электроэнергии в химической промышленности. Например, энергетический КПД для процесса синтеза аммиака составляет 25—42%, для обычных способов получения винилхлорида — 12%, а для его синтеза из N₀ — всего лишь 5—6,5%. В некоторых случаях высокотемпературные химические процессы сопровождаются потерями энергии до 60—70%. Энергетические потери в химическом производстве обуславливаются чаще всего объективными причинами, связанными с уровнем развития не только химических технологий, но и естествознания в целом. Однако есть и субъективные причины. Одна из них — сравнительно недавно разрабатывались методы превращения веществ с высоким процентом выхода конечной продукции без учета энергетической эффективности технологических процессов.

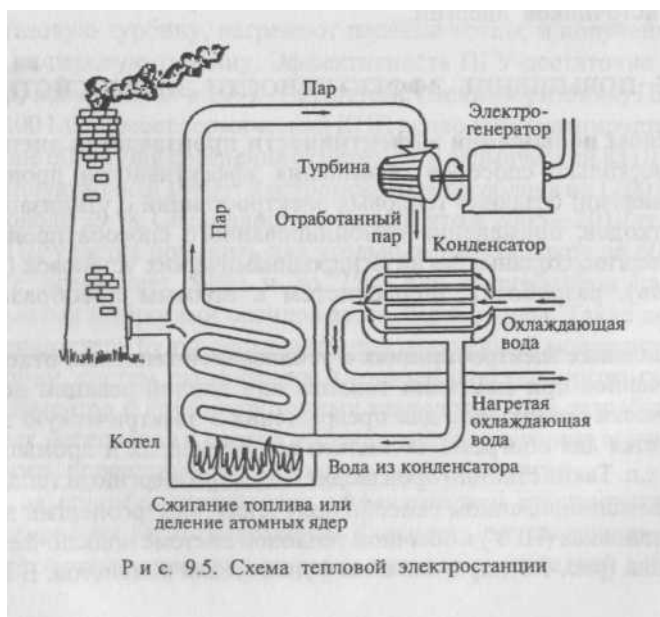
Повышение энергетического КПД процессов и аппаратов — одна из важнейших задач совершенствования химических технологий. Возможны разные способы ее решения: оптимизация химических реакций, уменьшение числа стадий технологического процесса, снижение температуры и давления реакционного процесса, приближение химических процессов к биологическим и, наконец, разработка новых технологий. Проблема энергосбережения охватывает не только химические процессы, но и весь технологический цикл производства конечного продукта, включающий весьма важные стадии — добычу и первичную переработку природного сырья.

Новые методы, модифицированные установки и аппараты, новейшие технологии позволяют постепенно решать проблему энергосбережения. Конечно, на всех действующих предприятиях всеми возможными мерами необходимо сокращать бесполезное рассеяние энергии. Такие меры известны — это оптимизация производственных процессов, утилизация рассеянного тепла, улучшение изоляции и герметичности, оптимизация процессов испарения и конденсации и т.д. Сохранение энергетических ресурсов — неотъемлемая и значимая задача всех отраслей материального производства.

9.4. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Существенная доля электроэнергии производится на *тепловых электростанциях*, где при сжигании ископаемого топлива получают тепло и пар, подаваемый на турбогенераторы, вырабатывающие электроэнергию. В качестве топлива используются уголь, нефть или природный газ, а на атомных электростанциях — ядерное горючее.

Принципы работы различных электростанций во многом совпадают и отличаются способом получения тепла от первичного источника — органического либо ядерного топлива. В результате сжигания топлива или ядерных реакций выделяется тепло, используемое для нагревания воды и получения пара (рис. 9.5). Полученный пар с высокими температурой и давлением подается на турбину, вращающую якорь генератора электрического тока. Отработанный пар с пониженными температурой и давлением, покидая турбину, направляется в конденсатор, через который пропускается охлаждающая вода для превращения пара в воду. В процессе конденсации пара охлаждающая вода нагревается и сбрасывается в водоем, откуда она вначале забиралась, либо пропускается через градирни для охлаждения и повторного использования в конденсаторе. Вода, образовавшаяся из сконденсированного пара, возвращается в котел, и тепловой цикл снова повторяется.



Р и с. 9.5. Схема тепловой электростанции

КПД современной тепловой электростанции — около 40%. На электростанциях на органическом топливе охлаждающей воде передается около 75% тепловых отходов, а остальное неиспользованное тепло отводится через дымовые трубы. Тепловые сбросы на атомных электростанциях передаются в основном воде, охлаждающей конденсаторы.

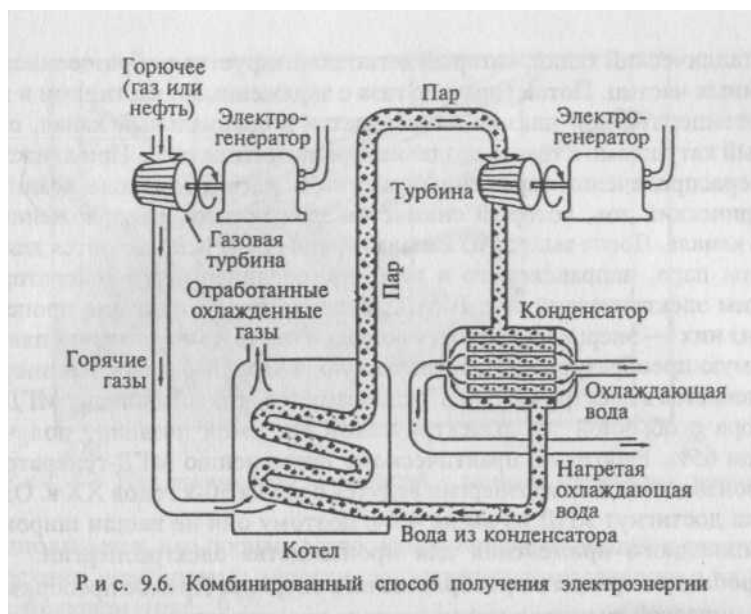
Громадное количество производимой электрической энергии неизбежно влечет за собой сброс чрезвычайно больших объемов тепловых отходов в окружающую среду — реки, водоемы и атмосферу. Сбрасываемое тепло приводит к тепловым загрязнениям окружающей среды. Тепловое загрязнение (преимущественно воды) сопровождается процессом охлаждения открытого типа, при котором охлаждающая вода поступает из внешнего резервуара (бассейна реки, водоема) и затем в нагретом состоянии после использования для конденсации пара возвращается опять в тот же резервуар, откуда она поступала. Охлаждение другого типа — с замкнутым циклом, когда тепло, получаемое охлаждающей водой, рассеивается в атмосфере при помощи градирен (башен, в которых вода охлаждается путем разбрызгивания и испарения) — приводит к тепловому загрязнению в основном атмосферы. Тепловое загрязнение и воды, и атмосферы нарушает жизнедеятельность экосистем. Кроме того, тепловые электростанции — источник колоссального количества углекислого газа, двуокиси серы и других газов, загрязняющих атмосферу. Все это означает, что производство энергии на тепловых станциях — не самый лучший и эффективный способ. В этой связи продолжается поиск более эффективных источников энергии.

9.5. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Способы повышения эффективности производства энергии. Известно несколько способов повышения эффективности производства электроэнергии: создание тепловых электростанций с утилизацией тепловых отходов, применение комбинированного способа производства электроэнергии, создание магнитогидродинамических установок (МГД-генераторов), разработка энергосистем с прямым преобразованием энергии.

На тепловых электростанциях с утилизацией тепловых отходов тепло, полученное при сжигании топлива или цепной реакции деления и энергетически невыгодное для превращения в электрическую энергию, используется для обогрева жилых, общественных и промышленных зданий и т.п. Такие станции производят и электроэнергию, и тепло.

При комбинированном способе получения электроэнергии в парогазовых установках (ПГУ) к обычной тепловой системе подключается газовая турбина (рис. 9.6), применяемая в двигателях самолетов. В ПГУ она



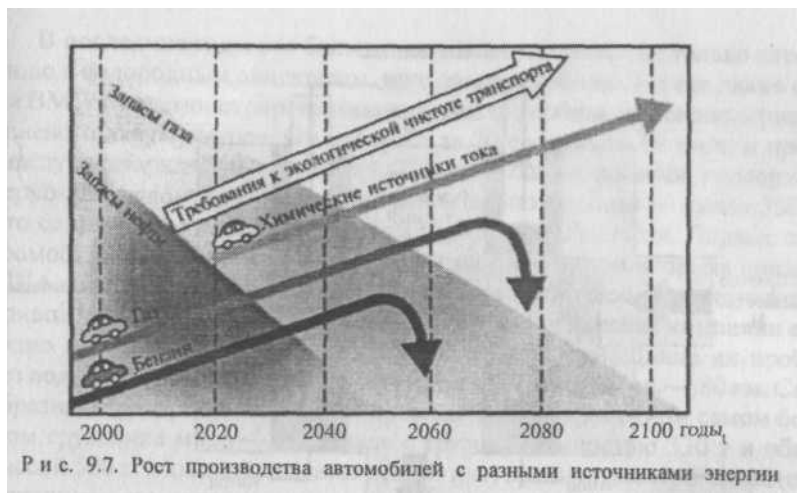
приводится в движение потоком газов — продуктов сгорания керосина или природного газа — и вращает якорь электрогенератора, вырабатывающего электрический ток. При этом в электричество преобразуется около 25% тепловой энергии сжигаемого топлива. Горючие газы, покидающие газовую турбину, нагревают паровые котлы, и полученный пар подается на паровую турбину. Эффективность ПГУ достаточно высока. Например, построенная в 1999 г. в Коттаме (Великобритания) ПГУ ТЭС на 350—400 МВт имеет термический КПД около 60% (планируется получить и выше 60%). Для сравнения отметим, что термический КПД введенного в эксплуатацию в 1980 г. Костромского энергоблока на 1200 МВт составляет около 39 %. Специалисты считают, что к 2005—2010 гг. термический КПД удастся повысить для угольных энергоблоков до 60% (сейчас он не превышает 50%) и до 75% для энергоблоков на газе с минимальными выбросами оксидов азота, серы и золы. Такие довольно высокие показатели будут достигнуты при дальнейшей модернизации газовых турбин, систем газификации и горячей очистки синтез-газа, топливных элементов и комбинированных технологий, при разработке перспективных материалов и систем эффективного управления всеми технологическими процессами производства электроэнергии.

Один из способов повышения эффективности производства энергии — применение МГД-генераторов. Сущность его заключается в следующем. В образующиеся при сгорании топлива горячие газы добавляет-

ся металлический калий, который легко ионизируется с образованием заряженных частиц. Поток горячего газа с заряженными частицами в виде низкотемпературной плазмы направляется в специальный канал, окруженный катушками с током, создающими магнитное поле. При движении и перераспределении заряженных частиц в магнитном поле возникает электрический ток, который снимается электродами, расположенными вдоль канала. После выхода из канала горячие газы используются для получения пара, направляемого в турбину, соединенную с генератором, дающим электрический ток. В МГД-системе происходят два процесса: один из них — энергия электропроводящей низкотемпературной плазмы напрямую преобразуется в электрическую, а второй — тепловая энергия превращается в электрическую. Предполагается, что комбинация МГД-генератора с обычной теплоэлектрической системой позволит получить КПД до 65%. Работы по практическому применению МГД-генераторов для производства электроэнергии ведутся с конца 50-х годов XX в. Однако пока достигнут КПД не выше 40%, поэтому они не нашли широкого промышленного применения для производства электроэнергии.

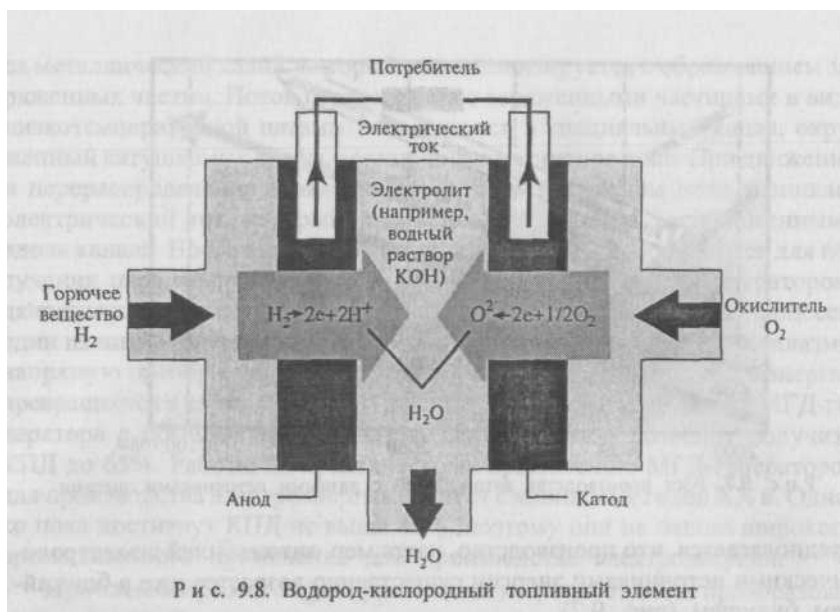
Проблемы прямого преобразования энергии. Прямое преобразование химической энергии в механическую происходит, например, при сокращении мышц. Подобное преобразование удалось имитировать в лабораторных условиях: синтезирована пластмассовая пленка, которая под влиянием щелочей растягивается вдвое и увеличивается в объеме в 8 раз, а под действием соляной кислоты сокращается. В результате такой деформации пленка может совершать полезную механическую работу. Для возбуждения процессов сжатия и расширения в лабораторных моделях применялись коллагенные белковые волокна в сочетании с растворами солей различных концентраций. Прямое преобразование химической энергии в электромагнитную происходит в разработанных сравнительно недавно химических лазерах, в которых атомы возбуждаются за счет энергии химических реакций. Однако КПД такого преобразования очень низок. Приведенные способы прямого преобразования энергии, конечно, не являются примерами промышленного производства энергии.

Электроэнергия на тепловых электростанциях производится по известной схеме: *химическая энергия топлива* *тепловая энергия* *механическая энергия* *электроэнергия*. При прямом преобразовании химической энергии в электрическую повышается КПД и экономятся материальные ресурсы. Поэтому по мере истощения ископаемых энергоресурсов и повышения требований к экологической чистоте энергетических установок и транспорта, как одного из основных потребителей энергоресурсов вклад химических источников электроэнергии с прямым преобразованием в общие энергоресурсы с течением времени будет возрастать.



Предполагается, что производство, например, автомобилей с электрохимическими источниками энергии существенно возрастет уже в ближайшем будущем (рис. 9.7).

Устройства с прямым преобразованием энергии известны давно. Это и батареи для карманного фонарика, и различного рода аккумуляторы. В предложенных сравнительно недавно топливных элементах также происходит прямое преобразование химической энергии в электрическую. Принцип их действия аналогичен принципу действия электрохимических элементов. Однако электроды топливных элементов служат катализатором и не принимают непосредственного участия в выработке электроэнергии. Например, в водород-кислородном топливном элементе топливо окисляется на аноде, высвобождая электроны (рис. 9.8). В результате между анодом и катодом возникает разность потенциалов. Анод изготавливается из пористого никель-керамического сплава с включением никелевых частиц, а катод — из того же сплава с включениями частиц серебра. Из 1 кг водорода в водород-кислородном элементе можно получить энергии в 10 раз больше, чем при сгорании 1 кг бензина в двигателе внутреннего сгорания. В таком элементе образуется вода, а не вредные выхлопные газы. Почему же они широко не внедряются и не приходят на смену бензиновым двигателям? Ответ на этот вопрос включает пока нерешенные проблемы, связанные с ценой и надежностью. Во-первых, водород должен быть дороже бензина не более чем в 10 раз, чтобы успешно с ним конкурировать. Во-вторых, безопасные хранение и транспортировка водорода требуют дальнейших технических усовершенствований. Тем не менее в 1999 г. фирма BMW выпустила первые модификации автобусов и легковых автомобилей на водороде и построила для них в аэропорту



Мюнхена (Германия) первую водородную автозаправочную станцию. Совсем недавно фирма «Дженерал Моторс» разработала легковой автомобиль с двигателем на водороде. Одна его заправка обеспечивает пробег 800 км. Такой двигатель отличается высокой экономичностью — его КПД достигает 85%, что примерно в 2 раза превышает КПД бензинового двигателя. При этом водородный двигатель не дает вредных выбросов — отработанным продуктом является вода.

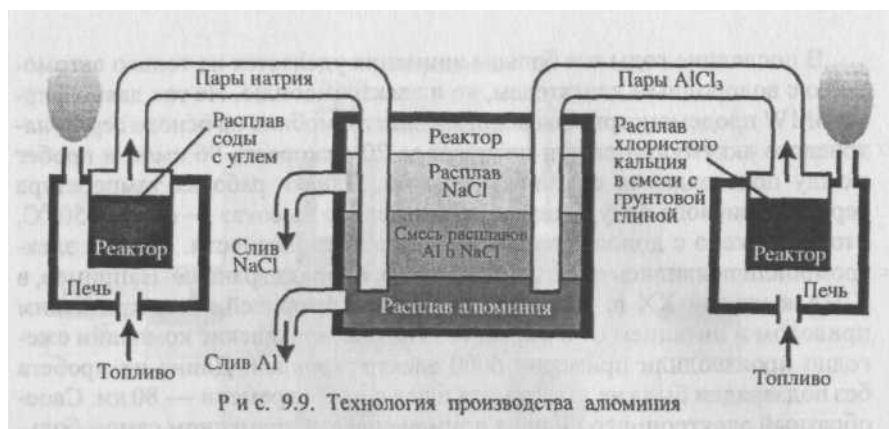
Для широкого внедрения водородных двигателей необходимо решить проблему дешевого производства водорода. Возможно, в ближайшем будущем ее удастся решить, если водород подобно нефти будет извлекаться из недр Земли. Проведенные недавно исследования наших соотечественников-геологов показали, что в результате электромагнитного зондирования на глубине 5—6 км наблюдается аномальное явление, которое, как предполагается, связано с наличием бескислородных сплавов и соединений на основе кремния, магния и железа. Если такое предположение подтвердится при глубинном бурении, то откроется возможность качать горячий водород прямо из Земли, ведь при взаимодействии кремния и магния с водой выделяются водород и тепло. Для этого достаточно пробурить две скважины — в одну закачивать воду, а из другой извлекать нагретый водород. Это позволит в большом количестве производить дешевые энергоресурсы — водород и сопутствующее тепло, и тогда водородная автозаправка станет обычным делом.

В последние годы все больше внимания уделяется не только автомобилю с водородным двигателем, но и электромобилю. Не так давно фирма BMW продемонстрировала новый электромобиль на основе серно-натриевого аккумулятора. Он набирает за 20 с скорость 96 км/ч, и пробег между подзарядками составляет 270 км. Однако рабочая температура серно-натриевого аккумулятора сравнительно высокая — около 350 °С, что сопряжено с дополнительными мерами безопасности. Первые электромобили появились не сегодня, не вчера, а гораздо раньше. Например, в США к началу XX в. выпускалось 38% автомобилей с электрическим приводом и питанием от батарей. К 1912 г. американские компании ежегодно производили примерно 6000 электромобилей. Длина их пробега без подзарядки была не так уж мала и для нашего времени — 80 км. Своеобразный электропривод нашел применение в современном самом большом грузовике мира — самосвале с грузоподъемностью 330 т и общей массой 500 т. Мощный двигатель (3000 л.с.) вращает электрогенератор, а в ступицах его колес смонтированы электродвигатели. Такой гигант успешно работает в одном из карьеров Вайоминга (США).

Разрабатываются и легкие электротранспортные средства: электромопеды, электророллеры, мини-электромобили — на никель-металлогидридных аккумуляторах, обладающих в 2—3 раза большей удельной энергоемкостью, чем свинцово-кислотные.

В настоящее время создаются топливно-гальванические элементы, в которых катодом служит пористая угольно-графитовая пластина с поступающим в него кислородом воздуха, анодом — алюминиевая пластина, а электролитом — водный раствор поваренной соли. Электрический подзаряд такому элементу не нужен, энергию он вырабатывает сам в процессе окисления (электрохимического сжигания) металла. КПД такого процесса около 80%, и при окислении при обычной температуре 1 кг алюминия выделяется примерно столько энергии, сколько при сгорании на воздухе при очень высокой температуре 1 кг каменного угля. Достоинств у таких источников энергии много — простота конструкции, полная безопасность эксплуатации и хорошие удельные энергетические характеристики. Недостаток в основном один — дороговизна анодного материала, которая определяется главным образом большой энергоемкостью его процесса производства. Такой недостаток можно свести к минимуму при внедрении новой технологии производства алюминия (рис. 9.9). При ее промышленном освоении алюминий и его сплавы станут намного дешевле.

Сравнительно недавно разработаны литий-иодные батареи с прямым преобразованием химической энергии в электрическую. Литий-иодные батареи работают на твердом иодном электролите, что позволяет при минимальных размерах батареи получить сравнительно большую емкость и



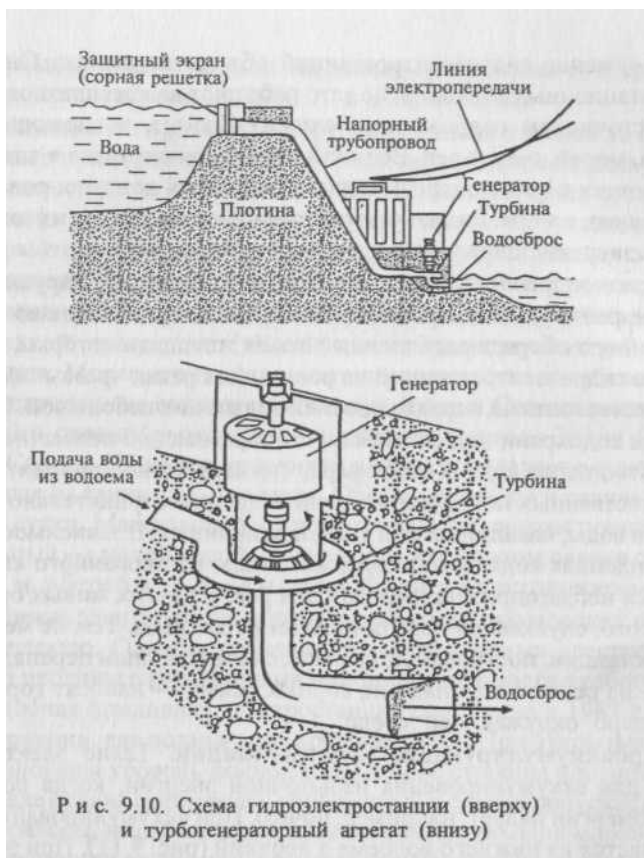
увеличить срок их службы. Такие батареи применяются в электрокардиостимуляторах. Срок их службы — около 10 лет, что гораздо больше, чем у обычных батарей.

При разработке новых модификаций преобразователей химической энергии в электрическую уделяется большое внимание повышению их мощности при снижении себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

9.6. ГИДРОИСТОЧНИКИ И ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

В последнее время возрастает интерес к неорганическим источникам энергии, т.е. источникам, в которых не принимает участие химический процесс — горение. К ним относятся гидроисточники (гидроэлектростанции, гидроаккумулирующие электростанции, приливные электростанции), геотермальные источники, гелиоисточники, ветроустановки и атомные электростанции.

Гидроэлектростанции. Принцип работы гидроэлектростанций основан на преобразовании потенциальной энергии падающей воды в кинетическую энергию вращения турбины, связанной с генератором, преобразующим кинетическую энергию в электрическую. Первые гидроэлектростанции относились к проточному типу: вода реки не подпруживалась, а просто пропусклась через турбину. Для них требуется большой перепад уровней реки, например, как на Ниагарском водопаде, где и была построена первая гидроэлектростанция подобного типа. На современных гидроэлектростанциях возводятся громадные плотины для увеличения объема воды, равномерно пропускаемой через турбины (рис. 9.10). Плотина не только создает водохранилище для накопления воды, но и повышает ее уровень. При этом увеличивается потенциальная энергия воды, что



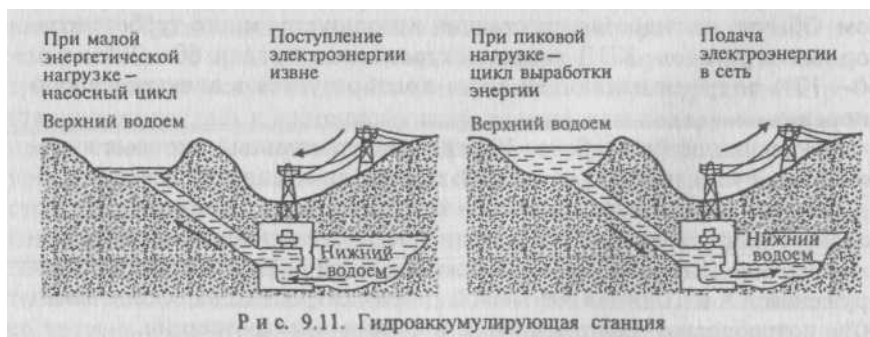
приводит к возрастанию кинетической энергии вращения турбины и в конечном результате — к увеличению вырабатываемой электроэнергии. Вода из водохранилища по напорному трубопроводу направляется на горизонтально вращающиеся лопасти турбины, соединенной с генератором. Обычно на гидроэлектростанции используется много турбогенераторных агрегатов. КПД гидроэлектростанций равен 60—70%, т.е. 60—70% энергии падающей воды преобразуется в электрическую энергию.

В России построено более 100 гидроэлектростанций, которые вырабатывают существенную часть всей производимой электроэнергии. Современные гидроэлектростанции — это сложнейшие технические сооружения. Построенная при содействии российских специалистов Асуанская плотина (Египет) включена в список выдающихся инженерных сооружений XX в. Плотина Асуанской гидроэлектростанции обеспечивает 90% потребностей Египта в воде и 50% в электроэнергии.

Сооружение гидроэлектростанций обходится дорого. Они требуют эксплуатационных расходов, но зато работают на «бесплатном топливе». Первоисточником гидроэнергии служит Солнце, испаряющее воду из океанов, морей, озер и рек. Водяной пар конденсируется в виде осадков, выпадающих в возвышенных местах, с которых конденсированная вода стекает вниз, в моря. Гидроэлектростанции встают на пути стока и преобразуют энергию движущейся воды в электрическую.

Однако гидроэлектростанции, особенно большие, нарушают экологическое равновесие. Плотины и водохранилища выводят из сельскохозяйственного оборота затопленные земли, площадь которых при строительстве гидроэлектростанций на равнинных реках чрезвычайно велика, так как естественный перепад уровней воды в них небольшой. Громадные площади водохранилищ способствуют образованию необычно большого количества паров воды в атмосфере, что неизбежно приводит к нарушению естественных погодных условий. Плотины отрицательно влияют на качество воды, накапливаемой в водохранилищах. В зависимости от сезона накопленная вода может содержать мало растворенного кислорода и оказаться неблагоприятной средой для рыб и других живых организмов. Кроме того, спускаемая вода разрушает русло реки. Тем не менее гидроэлектростанции, построенные на реках с естественным перепадом уровня воды — на реках с водопадами, горных реках, — наносят гораздо меньший ущерб окружающей среде.

Гидроаккумулирующие электростанции. Такие электростанции служат для аккумуляирования избыточной энергии, когда потребление электроэнергии падает, например, ночью. При аккумуляировании вода перекачивается из нижнего водоема в верхний (рис. 9.11). При этом поступающая извне электрическая энергия преобразуется в потенциальную энергию воды в верхнем водоеме. В часы пиковой нагрузки в электросети вода из верхнего водоема через гидроагрегаты перетекает в нижний, и запасенная потенциальная энергия воды преобразуется в электрическую.



Первая в нашей стране мощная гидроаккумулирующая электростанция введена в эксплуатацию в 2000 г. в Подмоскowie.

Эффективность гидроаккумулирующих электростанций не очень высокая: только примерно две трети энергии, потраченной на накачку воды, возвращается обратно в электросеть. Строительство таких станций требует больших капиталовложений, поэтому они не получили широкого распространения. Обсуждаются идеи гидроаккумулирования энергии с использованием подземных водоемов естественного происхождения.

Приливные электростанции. Морские приливы, долгое время оставаясь загадкой, приводили к мысли, что их громадную энергию можно использовать. Морские приливы — это периодические колебания уровня моря, обусловленные силами притяжения Луны и Солнца вместе с центробежными силами, вызванными вращением системы Земля — Луна и Земля — Солнце. Характер морских приливов определяет в основном самая большая из таких сил — лунная. Обычно приливы и отливы бывают два раза в сутки. Максимальный уровень воды называется полной водой, минимальный — малой водой. Полная вода в открытом океане составляет около 1 м, у берегов — до 18 м (залив Фанди в Атлантическом океане).

Приливные электростанции преобразуют энергию морских приливов в электрическую. Одна из разновидностей приливных электростанций состоит из плотины с встроенными в ее придонной части турбогенераторами. Подобная приливная электростанция сооружена в 1967 г. на реке Ране во Франции, где полная вода достигает 13 м. При открытых донных затворах плотины уровень полной воды по обе стороны плотины одинаков. В начале отлива поток воды, обращенный к суше, пропускается через турбогенераторы, вырабатывающие электроэнергию. При малой воде затворы закрываются до тех пор, пока разница уровней не станет достаточной для эффективной работы турбогенераторов. Затем поток полной воды пропускается через турбогенераторы в направлении к суше. Цикл повторяется, и таким образом энергия вырабатывается при отливе и приливе.

Построенные приливные электростанции во Франции, России, Китае доказывают, что приливную электроэнергию можно производить в промышленных масштабах. Выработка энергии на них не требует топлива, и себестоимость ее сравнительно низкая. Однако стоимость строительства приливных электростанций относительно высока: она примерно в 2,5 раза больше стоимости сооружения гидроэлектростанции той же мощности. Одно из преимуществ приливных электростанций в том, что они наносят минимальный ущерб окружающей среде.

Геотермальные источники энергии. С давних пор люди знают о стихийных проявлениях гигантской энергии, таящейся в недрах земного шара. Память человечества хранит предания о катастрофических извер-

жениях вулканов, унесших миллионы жизней и неузнаваемо изменивших облик некоторых мест обитания на Земле. Достаточно вспомнить гениальную картину К. Брюллова, изобразившего гибель античного города Помпеи при извержении вулкана Везувий в 79 г. от Рождества Христова. Мощность извержения даже сравнительно небольшого вулкана колоссальна, она многократно превышает мощность самых крупных энергетических установок, созданных руками человека. Правда, о непосредственном использовании энергии вулканических извержений говорить не приходится: человек пока не может обуздать такую непокорную стихию, да и, к счастью, извержения происходят не везде и не так уж часто. Но все же это проявления неисчерпаемой энергии, таящейся в земных недрах, крохотная доля которой находит выход через огнедышащие жерла вулканов.

Маленькая европейская страна Исландия (в переводе — «страна льда») полностью обеспечивает себя помидорами, яблоками и даже бананами! Многочисленные исландские теплицы получают энергию от Земли, других источников энергии в Исландии практически нет. Но эта страна очень богата горячими источниками и знаменитыми гейзерами — фонтанами горячей воды, вырывающейся из-под земли. И хотя не исландцам принадлежит приоритет в использовании тепла подземных источников (еще древние римляне к знаменитым баням — термам Каракаллы — подвели воду из-под земли), жители этой маленькой северной страны эксплуатируют подземную котельную очень интенсивно.

Но не только для отопления черпают люди энергию из глубин земли. Уже давно работают электростанции, использующие горячие подземные источники. Первая такая электростанция, совсем еще маломощная, была построена в 1904 г. в небольшом итальянском городке Лардерелло, названном так в честь французского инженера Лардерелли, который в 1827 г. составил проект использования многочисленных в этом районе горячих источников. Постепенно мощность электростанции росла, в строй вступали все новые агрегаты, использовались новые источники горячей воды, и в наши дни мощность станции достигла уже внушительной величины — 360 тыс. кВт. В Новой Зеландии подобная электростанция работает в районе Вайракеи, ее мощность 160 тыс. кВт. В 120 км от Сан-Франциско в США производит электроэнергию геотермальная станция мощностью 500 тыс. кВт.

В нашей стране горячими источниками особенно богаты Камчатка и Курильские острова — районы современного вулканизма. Источники, фонтанирующие паром и кипятком, известны в этих краях давно (некоторые из них описаны еще в 40-х годах XVIII в. С. Крашенинниковым), однако разведочное бурение началось там лишь в 1958 г. В районе реки Паратунки была сооружена первая в нашей стране геотермальная электростанция, а с 1967 г. на Паужетских термальных источниках в 200 км от

Петропавловска-Камчатского действует геотермальная электростанция мощностью 15 тыс. кВт. Верхне-Мутновская геотермальная электростанция на Камчатке рассчитана на мощность 12 МВт.

По весьма приближенным оценкам, запасы термальных вод (от 50 до 250°C) нашей страны составляют не менее 20 млн. м³ воды в сутки. Этот огромный резерв экологически чистой и возобновляемой тепловой энергии может заменить чрезвычайно большое количество органического топлива. Одна из самых мощных скважин в Дагестане (в селе Берикей) дает огромный приток горячей воды, используемой для обогрева. В год эта скважина выносит с водой 330 т иода и 450 т брома (это примерно 3% мирового производства брома). В нашей стране практически весь бром и большую часть иода добывают из подземных вод. Все это свидетельствует о больших перспективах развития геотермальной энергетики.

9.7. ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

Солнце обладает колоссальным запасом излучаемой энергии. Земля получает лишь небольшую ее часть — около $2 \cdot 10^{17}$ Вт, и ее вполне достаточно для обеспечения многообразных форм жизни и биосферных процессов на Земле. Предполагается, что эффективное использование солнечной энергии начнется после воспроизведения природного процесса — фотосинтеза. В лабораторных условиях вне растительной клетки уже производится фотохимическое разложение воды. Образующийся при этом водород — превосходный энергоноситель: из известных нерадиоактивных веществ он обладает самой высокой энергоемкостью. В процессе фотосинтеза в зеленых растениях из энергетически бедных соединений — углекислого газа и воды — образуются сложные по структуре и богатые энергией органические вещества, из которых синтезируются жиры, белки, целлюлоза и т.п.

Совсем недавно предложен несколько необычный способ использования солнечной энергии. Смесь, состоящую из размолотого магнетита и угольного порошка, облучали сфокусированным солнечным светом и нагревали до 1200 °С. В результате химической реакции образовались водород и угарный газ СО. Из них можно синтезировать, например, метиловый спирт — превосходное топливо. КПД такого процесса довольно высок — 47,6%.

В последние десятилетия гелиоэнергетические программы разрабатываются более чем в 70 странах — от северной Скандинавии до выжженных пустынь Африки. Создаются различные устройства для преобразования солнечной энергии. Появились транспортные средства с «солнечным приводом»: гелиовелосипеды, гелиомопеды, моторные лодки, яхты, солнцелеты и дирижабли с солнечными панелями. Солнцемобили,

сравниваемые вчера с забавным автоаттракционом, сегодня пересекают страны и континенты со скоростью, почти не уступающей скорости обычных автомобилей.

Одно из перспективных направлений гелиоэнергетики связано с разработкой фотоэлектрических элементов, преобразующих энергию электромагнитного излучения в электрическую. Первыми преобразователями, созданными около сорока лет назад, были полупроводниковые элементы, названные солнечными батареями. На ярком солнечном свете 1 м^2 современных солнечных батарей обеспечивает мощность 100—200 Вт. Солнечные батареи обладают высокой надежностью и долговечностью, особенно при эксплуатации на борту космических аппаратов. Они используются и в земных условиях, однако их широкое внедрение сдерживается относительно высокой себестоимостью.

В настоящее время разрабатываются энергоустановки с высокоэффективными преобразователями на основе монокристаллического кремния и арсенида галлия с концентраторами солнечного излучения и системой слежения за Солнцем, которые позволят существенно уменьшить их себестоимость.

Можно привести немало примеров применения солнечных батарей. В течение нескольких лет немецкий поселок Франитцхютте, расположенный на окраине Баварского леса, полностью питается энергией от гелиоэнергетической установки из 840 плоских солнечных батарей общей площадью 360 м^2 . Мощность каждой батареи 50 Вт. Ночью и в пасмурную погоду ток обеспечивает батарея свинцовых аккумуляторов, которые подзаряжаются в те часы, когда солнца в избытке. В Штутгартском университете (Германия) сконструирован самолет с мотором на солнечных батареях, расположенных на его крыльях с размахом 25 м. С грузом до 90 кг он взлетает с покрытой травой взлетной площадки и развивает скорость до 120 км/ч. Швейцарские ученые запатентовали прозрачные солнечные батареи, которые можно вставлять в оконные рамы вместо обычного стекла. Самая крупная гелиоэлектростанция мира работает в Швейцарии. Площадь ее солнечных батарей — 4500 м^2 и мощность — 500 кВт, что вполне достаточно для обеспечения электроэнергией небольшого поселка. В этой стране введено в строй более 700 гелиоустановок мощностью от 1 кВт до 1 МВт.

В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрос: потенциальные возможности гелиоэнергетики чрезвычайно велики. Заметим, что всего лишь 0,0125% энергии Солнца могло бы обеспечить все сегодняшние мировые потребности в энергии. К сожалению, вряд ли когда-нибудь такие огромные потенциальные ресурсы удастся реализовать. Одно из наиболее серьезных препятствий — низкая интенсивность солнечного излучения; даже при оптимальных при-

родных условиях (южные широты, чистое небо) плотность потока солнечного излучения относительно невелика. Поэтому коллекторы солнечного излучения нужно размещать на громадной площади. Кроме того, сооружение коллекторов огромных размеров влечет за собой значительные материальные затраты. Простейший коллектор солнечного излучения представляет собой затемненный металлический (как правило, алюминиевый) лист, сопряженный с трубами с циркулирующей жидкостью. Нагретая за счет солнечной энергии жидкость поступает потребителю. На изготовление подобных коллекторов солнечного излучения расходуется довольно много алюминия.

Гелиоэнергетика относится к наиболее материалоемким и трудоемким видам производства энергии. К сожалению, пока электрическая энергия, рожденная Солнцем, обходится намного дороже производимой другими способами. Одна из важнейших задач ученых заключается в разработке способов и устройств более эффективного преобразования солнечной энергии.

9.8. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Ветер служит человеку с древних времен (рис. 9.12). Первобытные люди поднимали паруса над неустойчивым челноком из бревна. Преобладающие западные ветры несли испанскую армаду к открытиям и побе-

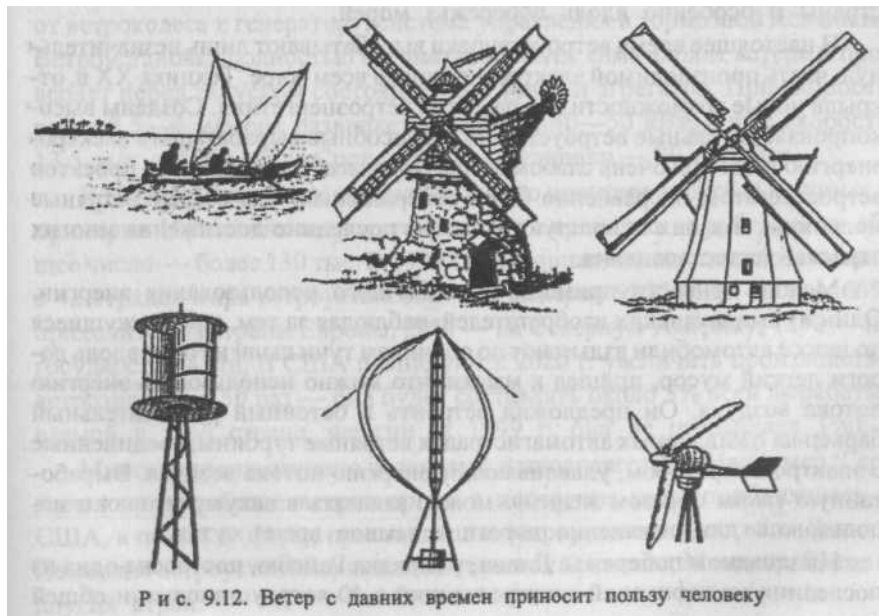


Рис. 9.12. Ветер с давних времен приносит пользу человеку

дам. Пассаты, надувая паруса больших клиперов, помогли открыть Индию и Китай и наладить торговлю с Западом. В древней Персии появились первые мельницы. Некоторым мельницам в Голландии уже более 500 лет, и они находятся в рабочем состоянии. Когда-то ветер был едва ли не единственным источником энергии. В 1910 г. в России насчитывалось примерно миллион ветряных мельниц и приблизительно столько же водяных. А сегодня такую энергетику называют нетрадиционной.

В 50-х годах XIX в. в США изобретен многолопастный ветряк. С его помощью вначале поднималась вода из колодцев и заполнялись водой паровые котлы. Позднее их стали использовать для производства электроэнергии. Многолопастный ветряк с ветроколесом диаметром до 9 м вырабатывает до 3 кВт электроэнергии при скорости ветра около 25 км/ч. В 30-х годах XX в. на территории США сооружено около 6 млн. многолопастных ветроустановок. Во многих сельских районах до введения в строй крупных электростанций основным источником электроэнергии были различные ветроустановки.

Энергия движущихся воздушных масс огромна. Ее запасы более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Постоянно и повсюду на земле дуют ветры — от легкого ветерка, несущего желанную прохладу в летний зной, до могучих разрушающих ураганов. Всегда неспокоен воздушный океан, на дне которого мы живем. Климатические условия позволяют развивать ветроэнергетику в разных регионах нашей страны и особенно вдоль побережья морей.

В настоящее время ветроустановки вырабатывают лишь незначительную часть производимой электроэнергии во всем мире. Техника XX в. открыла новые возможности для развития ветроэнергетики. Созданы высокопроизводительные ветроустановки, способные вырабатывать электроэнергию даже при очень слабом ветре. Предлагается множество проектов ветроагрегатов, несравненно более совершенных, чем старые ветряные мельницы, и в них используются самые последние достижения многих отраслей естествознания.

Можно привести примеры и необычного использования энергии. Один из американских изобретателей, наблюдая за тем, как движущиеся по шоссе автомобили вздымают по обочинам тучи пыли и гонят вдоль дороги легкий мусор, пришел к мысли, что можно использовать энергию потока воздуха. Он предложил встроить в бетонный разделительный барьер на оживленных автомагистралях ветряные турбины, соединенные с электрогенератором, улавливающие энергию потока воздуха. Выработанную таким образом энергию можно запасать в аккумуляторах и использовать для освещения дороги в темное время суток.

На западном побережье Дании, у городка Райсбю, построена одна из последних модификаций электростанций с 40 ветроустановками общей

мощностью 24 МВт. Ветроустановки оборудованы электронными регуляторами, обеспечивающими равномерную выработку энергии независимо от скорости ветра. Датские энергетики планируют в ближайшие 30 лет полностью перейти на энергию Солнца, воды, ветра и биомасс. В их проекте особое внимание уделяется ветроэнергетике: из 5300 МВт планируемой мощности 4000 МВт составит мощность ветроустановок, расположенных в море. Такое их расположение позволит более эффективно использовать энергию ветра. Над поверхностью моря ветер не встречает препятствий, и его скорость больше, чем над сушей. Поэтому в море можно получить в полтора-два раза больше энергии, чем на суше.

Каждый источник энергии необходимо располагать там, где он дает наибольшую отдачу, максимальную выгоду. С этой точки зрения для ветроэнергетики вполне подходят труднодоступные территории Севера и побережье морей, где скорость ветра в среднем за год не менее 6 м/с, при которой ветроустановка мощностью в 1 МВт в течение шести месяцев может произвести около 2,5 млн. кВт энергии, что вполне достаточно для обеспечения теплом и светом небольшого поселка.

Современная ветроустановка мощностью в 1 МВт состоит из ветроколеса диаметром 48 м, установленного на стальной конической башне высотой 40 м, на которой смонтированы агрегат для передачи мощности от ветроколеса к генератору, система управления и тормозной механизм. Ветроустановка полностью автоматизирована: сама «ловит ветер» и проверяет перед запуском состояние всех узлов и агрегатов. При скорости ветра 3,5—4 м/с она развивает мощность 40—50 кВт, а при скорости 13,5 м/с — 1000 кВт. Срок службы установки — 20—25 лет.

К 1998 г. в России насчитывалось около полутора десятков крупных и примерно 100 мелких ветроустановок, в то время как за рубежом их общее число — более 130 тыс. В 1999 г. суммарная мощность действующих в 42 странах мира ветроустановок — примерно 9800 МВт. Из них 66% приходится на страны Европы, 20% — на Северную Америку, 12% — на государства Азии. В США планируют к 2020 г. увеличить производство ветроэнергии в 50 раз — она будет составлять около 5% всей вырабатываемой в этой стране энергии (в 1999 г. она не превышала 1%).

Многие страны активно развивают ветроэнергетику. Например, Германия по выработке ветроэнергии в последние годы приблизилась к США, а по числу фирм, производящих ветроустановки, догнала Данию. Немецкие ветроустановки наполняют рынок Бразилии, Мексики, Китая и других стран.

Ветроустановки производят небольшой шум, и их металлические лопасти могут создавать помехи для радио- и телепередач. Все это можно свести к минимуму, удачно выбрав место их расположения. В целом ветроэнергетику принято считать экологически безопасной.

9.9. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Развитие атомной энергетики. В настоящее время примерно 17% объема мирового производства электроэнергии приходится на атомные электростанции (АЭС). В некоторых странах ее доля значительно больше. Например, в Бельгии и Швеции она составляет около половины всей производимой электроэнергии, во Франции и Литве — около трех четвертей. Согласно принятой в Китае программе, вклад энергии АЭС предполагается увеличить в пять-шесть раз (сейчас он составляет около 1%). Заметную, хотя пока не определяющую роль, АЭС играют в США и России, где на долю атомной энергии приходится соответственно 20 и 15%.

Более сорока лет назад, когда дала ток первая в мире атомная станция в мало кому известном в то время городке Обнинске Калужской области, считалось, что атомная энергетика вполне безопасна. Аварии на американских АЭС, а затем катастрофа в Чернобыле показали, что на самом деле атомная энергетика сопряжена с опасностью. Люди напуганы. Общественное мнение сегодня таково, что строительство новых АЭС в большинстве стран практически остановлено. Исключение составляют лишь восточно-азиатские страны — Япония, Корея, Китай, где атомная энергетика продолжает развиваться.

Однако накопленный опыт и новые технологии позволяют строить ядерные реакторы, вероятность выхода которых из-под контроля хотя и не равна нулю, но крайне мала. На современных АЭС обеспечен строжайший контроль за уровнем радиации в помещениях и в каналах реакторов, налажена высокоэффективная система автоматического регулирования — все это позволяет повысить надежность работы АЭС и свести к минимуму вероятность возникновения аварии.

Атомной энергетике предшествовали испытания ядерного оружия. На земле и в атмосфере испытывались атомные и термоядерные бомбы. В то же время инженеры разрабатывали и ядерные реакторы для производства электрической энергии. Приоритет получило военное направление — разработка реакторов для кораблей военно-морского флота и прежде всего подводных лодок с большим радиусом действия при длительном пребывании под водой. Американцы разрабатывали корпусные водо-водяные реакторы, в которых замедлителем нейтронов и теплоносителем служила обычная («легкая») вода. В середине 50-х годов XX в. пер-

вая американская подводная лодка с атомным двигателем «Наутилус» прошла под льдами Ледовитого океана.

Аналогичные работы велись и в нашей стране, только наряду с водо-водяными реакторами разрабатывался канальный графитовый реактор (в нем теплоноситель — вода, а замедлитель — графит). Однако по сравнению с водо-водяным реактором графитовый имел меньшую мощность и оказался бесперспективным для применения в транспортных установках. И тогда было решено использовать его для атомной энергетики. Ядерный графитовый реактор, а точнее, его турбогенератор мощностью 5000 кВт 27 июня 1954 г. подключили к электрической сети, и весь мир узнал, что в СССР пущена первая в мире АЭС, в разработке которой принимали участие выдающиеся ученые-физики Н.Н. Доллежал (1899—2000), И.В. Курчатов (1902/03—1960), Д. И. Блохинцев (1907/08—1979) и др.

Наряду с канальными графитовыми реакторами в нашей стране, как и в США, с середины 50-х годов XX в. разрабатывались водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР). Однако для них не была создана промышленная база. В то же время в СССР развертывалось серийное строительство реакторов большой мощности канальных (РБМК), которые были созданы в результате модернизации канальных графитовых реакторов. При эксплуатации реакторов РБМК была выявлена неустойчивость их работы. Для повышения устойчивости разработана специальная система автоматического регулирования. Несмотря на это, в результате нарушения регламентных работ на Чернобыльской АЭС в 1986 г. случилась авария.

Так нужно ли развивать атомную энергетику? Выработка энергии на АЭС — это наиболее экологически чистый способ производства энергии. Энергия ветра, Солнца, подземного тепла и т.д. не может сразу и быстро заменить другие виды энергии. Спасти нашу планету от загрязнения миллионами тонн углекислого газа, оксидов азота и серы, выбрасываемыми тепловыми электростанциями, работающими на угле, мазуте и т.п., можно лишь с помощью атомной энергетики. Но только при условии: чернобыльская авария не должна повториться. Для этого необходимо повысить надежность работы реактора. Вынужденная пауза, возникшая в развитии атомной энергетики, должна быть использована для разработки достаточно безопасного энергетического реактора на базе реактора ВВЭР и других безопасных энергетических установок.

С течением времени начинает меняться общественное мнение об атомной энергетике. Например, в Швеции, где существенную долю энергии вырабатывают АЭС, еще в 1980 г. (вскоре после серьезной аварии на АЭС в США) под давлением общественности принято решение о постепенном прекращении эксплуатации АЭС. Тем не менее в этой стране до

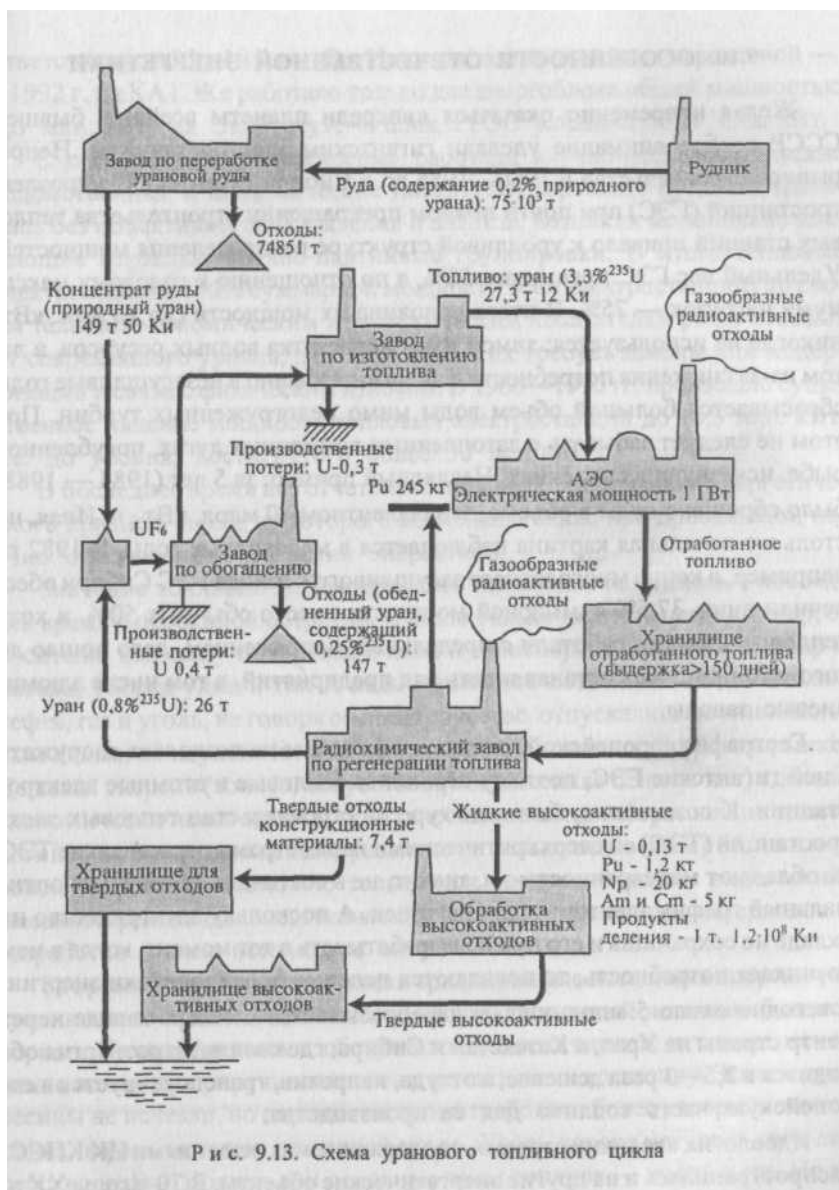
сих пор работают 12 ядерных реакторов. Предстоящее повышение цен на электроэнергию в связи с остановкой АЭС заставила большую часть населения переосмыслить свое отношение к атомной энергетике — примерно 80 % населения относятся к закрытию АЭС весьма сдержанно.

В последнее время предлагаются различные конструктивные решения атомных электростанций, в том числе и модульные модификации при подземном расположении ядерного реактора.

Ядерное топливо. Цепная реакция деления ядер сопровождается выделением огромного количества энергии. Так, при делении тяжелого ядра на два осколка освобождается энергия, равная примерно 1,1 МэВ на один нуклон. Расчеты показывают, что 1 кг урана выделяет в миллионы раз больше энергии, чем 1 кг каменного угля. Следовательно, ядерное топливо — чрезвычайно энергоемкий источник энергии. В то же время ядерный топливный цикл — это самый сложный технологический процесс (рис. 9.13).

В отличие от углеродсодержащих носителей энергии, применяемых и как сырье для химической промышленности, ядерное топливо представляет практический интерес преимущественно для производства электрической и тепловой энергии. Огромные возможности для развития атомной энергетики открываются с созданием реакторов-размножителей на быстрых нейтронах (бридеров), в которых выработка энергии сопровождается производством вторичного горючего — плутония, что позволит кардинально решить проблему обеспечения ядерным топливом. Как показывают оценки, 1 т гранита содержит примерно 3 г урана-238 и 12 г тория-232 (именно они используются в качестве сырья в бридерах). При потреблении энергии $5 \cdot 10^8$ МВт (на два порядка выше, чем сейчас) запаса урана и тория в граните хватит на 10^9 лет. Первый опытно-промышленный реактор на быстрых нейтронах мощностью до 350 МВт построен на берегу Каспийского моря. Он производит электроэнергию и опресняет морскую воду, обеспечивая пресной водой город и прилегающий район нефтедобычи с численностью населения около 150 000 человек.

Колоссальная энергия выделяется при термоядерном синтезе. Если при делении ядра урана высвобождается энергия около 0,84 МэВ на один нуклон, то при термоядерном синтезе дейтерия и трития — примерно 3,5 МэВ. Следовательно, из всех реакций термоядерные дают наибольший выход энергии на единицу массы «горючего». Например, по энергетической емкости количество дейтерия в стакане простой воды эквивалентно приблизительно 60 л бензина. В этой связи весьма заманчива перспектива управляемого термоядерного синтеза, который открывает человечеству доступ к неисчерпаемой кладовой энергии, заключенной в ядрах атомов легких элементов. Расчеты показывают, что Мировой океан содержит примерно $4 \cdot 10^{13}$ т дейтерия, что соответствует энергетическому



только надеяться, что проблема управляемого термоядерного синтеза в недалеком будущем будет успешно решена.

9.10. ОСОБЕННОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Желая непременно оказаться «впереди планеты всей», в бывшем СССР особое внимание уделяли гигантским электростанциям. Непрерывное строительство в 1960—1985 гг. в Сибири гигантских гидроэлектростанций (ГЭС) при почти полном прекращении строительства тепловых станций привело к уродливой структуре распределения мощностей. Удельный вес ГЭС превышает 50%, а по отношению к годовому максимуму нагрузок — 75%. В итоге половина их мощности (до 10 млн. кВт) никогда не используется: зимой из-за недостатка водных ресурсов, а летом из-за снижения потребности в энергии. Обычно в незасушливые годы сбрасывается большой объем воды мимо недогруженных турбин. При этом не следует забывать о затопленных пойменных лугах, погубленной рыбе, исчезнувших селениях. Наглядный пример: за 5 лет (1984 — 1988) было сброшено воды в объеме, эквивалентном 40 млрд. кВт · ч. Иная, но столь же печальная картина наблюдается в маловодные годы. В 1982 г., например, в конце многолетнего засушливого периода ГЭС Сибири обеспечили лишь 37,5% суммарной мощности вместо обычных 50%, и хотя тепловые станции работали с предельным напряжением, дело дошло до того, что пришлось останавливать ряд предприятий, в том числе алюминиевые заводы.

География европейской части нашей страны не позволяет сооружать в ней гигантские ГЭС, поэтому строились тепловые и атомные электростанции. К сожалению, был взят курс на строительство тепловых электростанций (ТЭС) со сверхкритическими параметрами пара. А такие ТЭС не обладают маневренностью и, значит, не в состоянии обеспечить оптимальный график электрических нагрузок. А поскольку электричество на складе неохранишь и его нужно вырабатывать в тот момент, когда в нем возникает потребность, то появляются нелепые противопотоки энергии. Ежегодно около 5 млрд. кВт · ч перебрасывается с северо-запада через центр страны на Урал, в Казахстан и Сибирь, где своя электроэнергия обходится в 2,5—3 раза дешевле, а оттуда, напротив, транспортируется в европейскую часть топливо для ее производства.

Идеология «великих строек», поддерживаемая решениями ЦК КПСС, распространилась и на другие энергетические объекты. В 70-е годы XX в. были созданы проекты сверхмощных энергетических комплексов государственных районных электростанций (ГРЭС) Канско-Ачинского (КАТЭК) и Экибастузского. По директивам партии и правительства к 1990 г. там должны были работать по четыре ГРЭС общей мощностью со-

ответственно в 25 и 16 млн. кВт. Но такая задача оказалась нереальной — в 1992 г. на КАТЭКе работало только два энергоблока общей мощностью 1,6 млн. кВт, на Экибастузе — блок ГРЭС мощностью 4 млн. кВт.

С определенным «перекосом» работали научно-исследовательские ведомственные и академические институты, огромные средства тратились без объективного обсуждения и анализа, возникли монопольно владеющие отраслью научно-партийные группировки. В итоге тепловые электростанции (70% суммарной мощности всех электростанций) по своим технико-экономическим и экологическим показателям резко отстают от современного уровня, почти половина их требует замены или модернизации в связи с физическим износом. В 1986—1990 гг. произошло существенное падение мощности тепловых электростанций до 15,3 млн. кВт, т.е. до уровня, достигнутого более 30 лет назад.

В последнее время все отчетливее проявляются признаки энергетического кризиса, выход из которого возможен только при правильном, научно обоснованном развитии энергетики.

Значение топливно-энергетического комплекса ощутилось в последнее время с особенной остротой. Стоило только поднять цены на энергоносители, как сразу подорожали хлеб и транспорт, отопление квартир и металл, уборка улиц и т.п. А ведь нашим отечественным потребителям нефть, газ и уголь, не говоря об электричестве, отпускались по минимальным ценам, не идущим ни в какое сравнение с ценами на мировом рынке. Дешевая энергия (точнее, искусственно заниженная цена на нее) сделала экономически невыгодными практически все энергосберегающие технологии. Очевидно, дальнейшее развитие не только отечественной, но и мировой энергетики возможно только при внедрении новых технологий, высокоэффективных энергетических систем, современных материалов и разработке новых источников энергии.

За время развития цивилизации традиционные источники энергии уступали место новым. И не потому, что традиционный источник был исчерпан. Солнце светило и обогревало человека всегда, и тем не менее люди, однажды приручившие огонь, начали жечь древесину. Запасы древесины не исчезли, но паровые машины требовали более калорийного топлива, каким оказался каменный уголь. Уголь вскоре уступает свое лидерство нефти. В наши дни основные виды топлива — нефть и газ. Но за каждым новым кубометром газа или тонной нефти нужно идти все дальше на север или восток, зарываться все глубже в землю. Во второй половине XX в. освоен новый источник энергии — ядерное топливо, которое по своей энергоемкости превосходит все известные виды топлива.

Энергетика очень быстро аккумулирует все самые новейшие идеи, изобретения и достижения естествознания. Это позволит в ближайшем будущем не только повысить эффективность традиционных источников энергии, но и развивать энергохимию, водородную энергетику и постепенно переходить к возобновляемым и принципиально новым источникам энергии.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается естественно-научное понимание энергии?
2. Почему энергию считают источником благосостояния?
3. Назовите основные способы преобразования энергии.
4. Чем обуславливается необходимость преобразования тепловой и других видов энергии в электрическую?
5. Какую роль играют химические процессы в преобразовании энергии?
6. Приведите цифры, характеризующие затраты энергии на производство различной промышленной продукции.
7. От чего зависит эффективность производства энергии?
8. Чему равен КПД паровой машины, тепловых электростанций, МГД-генераторов, атомных электростанций?
9. В чем заключается принцип работы тепловой электростанции?
10. Что такое тепловое загрязнение окружающей среды?
11. Назовите основные способы повышения эффективности энергосистем.
12. В чем сущность комбинированного способа получения электроэнергии?
13. Объясните принцип действия МГД-генератора.
14. Приведите примеры прямого преобразования энергии. В чем его преимущества?
15. Каков принцип работы водород-кислородных топливных элементов?
16. В чем заключаются особенности водородного двигателя?
17. Чем отличаются батареи на твердом иодном электролите от обычных?
18. Назовите основные неорганические источники энергии.
19. Охарактеризуйте преимущества и недостатки гидроисточников энергии.
20. Каковы перспективы использования геотермальной энергии?
21. Назовите причины медленного развития гелиоэнергетики.
22. Объясните роль фотосинтеза в преобразовании солнечной энергии.
23. Каковы перспективы развития ветроэнергетики?
24. Где и когда была построена первая атомная электростанция?
25. Чем отличаются друг от друга атомные реакторы разных типов?
26. Какая доля мирового производства электроэнергии приходится на АЭС?
27. Является ли перспективным ядерное топливо?
28. Какова ближайшая перспектива развития атомной энергетики?
29. В чем заключаются особенности развития отечественной энергетики?
30. Охарактеризуйте кратко перспективы развития энергетики.

Когда я прохожу мимо крестьянских лесов, которые я спас от порубки, или, когда я слышу, как шумит мой молодой лес, посаженный моими руками, я сознаю, что климат немножко и в моей власти и что если через тысячу лет человек будет счастлив, то в этом немножко буду виноват и я.

А.П. Чехов

10. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ

10.1. ГЛОБАЛЬНЫЕ КАТАСТРОФЫ И ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ

Сравнительно недавно ученые, изучая микроструктуру органической материи, сделали поразительный вывод: возникновение и развитие жизни на нашей планете, если считать по Дарвину, потребовало бы много больше времени, нежели действительная история, охватывающая период от первых на Земле живых организмов до вершины природы — человека. И тут пришлось вспомнить основоположников палеонтологии — науки о развитии жизни на Земле — французских зоологов Жоржа Кювье (1769—1832) и Жоффруа Сент-Илера (1772—1844).

В 1812 г. Кювье опубликовал первые итоги изучения своих находок под названием «Исследования об ископаемых костях». Ученый обратил внимание на то, что в земле чередуются слои, бедные и богатые останками погибших животных. При этом он обнаружил, что в каждом новом слое останки принадлежат животным другого вида, а не тем, что найдены в предыдущем и последующем слоях, т. е. не тем, которые обитали на Земле раньше или позже, разумеется, в геологическом масштабе времени.

В следующей книге Кювье — «Рассуждения о переворотах на поверхности земного шара и об изменениях, какие они произвели в животном царстве» — ученый утверждает, что ископаемые формы — это либо прямые предки нынешних животных, в сущности от них не отличающиеся, но сумевшие пережить все природные перевороты, либо останки форм, окончательно вымерших в результате случившихся переворотов и ничего общего с ныне живущими не имеющих. Он полагал, что развитие четырех видов животных (по его классификации — позвоночных, членистых, мягкотелых, лучистых) происходило изолированно. Однако отстаивая свои выводы, Кювье не смог убедительно показать, какие же силы вызвали на Земле столь грандиозные перевороты, чтобы быть способными оборвать ту или иную линию развития жизни. Он только напи-

сал: «Какие-то силы раздробили, приподняли слои Земли и опрокинули их на тысячу ладов».

Заметил чередование ископаемых останков и Жоффруа. Однако объяснения, сделанные Кювье и Жоффруа, расходились настолько, что их многолетний спор привлек внимание ученых всего мира. В Париже не раз в те годы проводились диспуты соперничающих ученых, за которыми следил весь образованный мир. Известен интересный эпизод. Когда в 1830 г. к Гёте пришел гость с возгласом: «Великое событие в Париже!..», Гёте нетерпеливо прервал пришедшего: «Кто же одержал верх — Кювье или Жоффруа?» Гость же принес весть о революции в Париже, об уличных боях...

Жоффруа считал, что гибель господствовавших в определенные периоды видов животных еще не означала повсеместной гибели жизни вообще. Некоторые виды, занимавшие ранее подчиненное место, выживали. Наделенные свойствами противостоять силам природы, которые уничтожали большую часть животного мира, они получали простор для своего дальнейшего развития. В отличие от Кювье он видел единство организации и развития животного мира.

В одном лишь были едины Кювье и Жоффруа: какие-то грандиозные силы вмешивались в эволюцию жизни, и в результате такого вмешательства появлялись более совершенные формы животных. Казалось, эволюция время от времени подвергалась действию таинственного ускорителя. Впрочем, подобную же роль может сыграть и тормоз, который замедляет или вовсе сбрасывает с «конвейера эволюции» какие-то виды, например, владевших миллионы лет землей динозавров, мешавших развитию других видов, а именно — млекопитающих, так возникает больше простора для развития видов более жизнестойких.

О действии некоего тормоза по существу говорит и палеонтология. Чередование богатых окаменелостями слоев с горизонтами, скудными на них (на что первыми обратили внимание Кювье и Жоффруа), сегодня есть истина, подтвержденная всей историей науки об ископаемых. Но что же могло послужить ускорителем или замедлителем эволюции? Мы не будем рассматривать вмешательство в дела развития природы ни инопланетян, ни провидения. Ограничимся известными науке естественными силами. Без сомнения, это были высокоэффективные, мощные воздействия, способные, например, в короткий срок уничтожить могучее и многочисленное стадо динозавров, насчитывающее несколько сот видов — среди них были малютки весом в единицы килограммов и гиганты — в десятки тонн. Динозавры господствовали на суше, в воде и воздухе.

Еще в давние времена (до эры динозавров) высшие териодонты — терапсиды — приобрели многие черты строения и физиологические особенности, характерные для млекопитающих: лактация, способ дыхания и

питания, обоняние... Но вдруг терапсиды исчезают. В геологических слоях, более поздних, чем триасовый период, палеонтологи не находят останков терапсид. У филогенетического древа оказались обломанными крупные ветви. Однако какие-то ветви терапсид, видимо, ставшие предками млекопитающих, выжили, ускользнув от уничтожающего удара природы. Тем не менее палеонтологи несравненно чаще встречаются в поздних слоях обширные кладбища динозавров. Судя по раскопкам, именно динозавры владели планетой примерно 150 млн. лет. Однако их эра неожиданно закончилась 64,5 млн. лет назад. Возникает вопрос: почему так стремительно исчезло с лица Земли обширное сообщество динозавров? Существуют различные гипотезы. Одна из них — повышенная активность вулканов: газы и выброшенный пепел пеленой затянули небо и ослабили солнечное излучение — динозавры не вынесли сильного похолодания. Другая гипотеза — вспышка близкой к Земле Сверхновой звезды — и животные не выдержали чрезмерного облучения.

Некоторые ученые, изучающие эволюцию биосферы, придерживаются несколько иной точки зрения: Земля — дитя Космоса — находится в окружении космических объектов, многие из которых время от времени кардинально влияют на развитие земной жизни (рис. 10.1). При этом следует отметить, что два крупнейших в истории Земли вымираний живого не совпадают по времени с метеоритными ударами, хотя в одном из случаев погибло 90% всех видов. Возражением против того, что лишь космические факторы ответственны за формирование жизни на Земле, служит и то, что в позднем девоне произошла массовая гибель морских животных, но в то же время на суше ничего похожего в тот период не наблюдалось. Подобный удар биосфера суши получила в конце девона, когда стали доминировать листовенные растения, с появлением которых увеличилась эффективность поглощения солнечной энергии во много раз. Травоядные получили изобилие растительного корма, безмерно размножились, и когда пищи стало не хватать, масса животных погибла от голода.

В сходных условиях могли оказаться и наши предки. Первобытным людям охота в изобилии приносила мясо разнообразных животных, включая мамонтов, что сделало племена многолюдными. Массовое истребление животных привело к тому, что не на кого стало охотиться. Страшный голод опустошил тогда землю, и выжили лишь те, кто начал обрабатывать землю, приручать животных. А это свидетельствует о том, что глобальные катастрофы могли зародиться в самой биосфере, т. е. имели земное происхождение.

К сожалению, к настоящему времени нет прямых доказательств ни внутрипланетарных, ни космических воздействий на биосферу. А это означает, что современные ученые не так далеко ушли от Кювье, предпола-

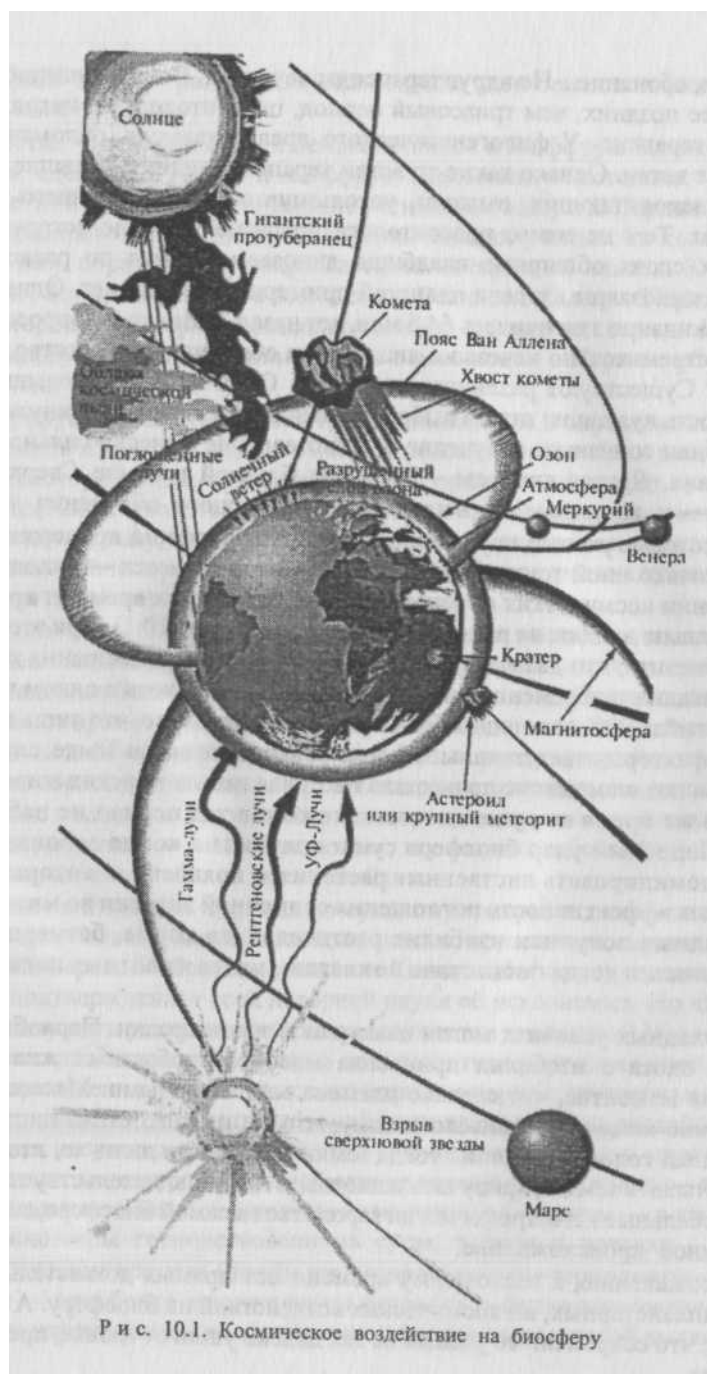


Рис. 10.1. Космическое воздействие на биосферу

гавшего идею вмешательства катастроф в эволюцию жизни на Земле. Многие десятилетия идея Кювье отрицалась наукой, как, впрочем, отрицается сейчас его гипотеза о многократном возникновении животного мира, ничего общего с предшественниками не имеющего. Что же делать? Видимо, следовать совету гениального Гёте: «Не надо застыть в сомнении, оно, напротив, должно двигать дух к дальнейшему исследованию и испытанию, и, если они проходят на более совершенной и широкой базе, — истина одержит победу».

10.2. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Интенсивность воздействия на биосферу сельскохозяйственной, а затем и промышленной деятельности людей особенно быстро нарастала в последние две сотни лет и достигла такого уровня, когда биосфера больше не могла сохраняться в своем прежнем состоянии. Назрел кризис биосферной системы, о чем и предупреждали человечество в 30-е годы XX в. В.И. Вернадский и другие ученые. Предполагается, что из кризисного состояния самоорганизующаяся система выходит скачком, меняя свою структуру и облик таким образом, чтобы на новом уровне организации достичь устойчивого состояния. Обычно в точке бифуркации существует несколько возможных путей для перехода системы в новое устойчивое состояние. В условиях крайней неустойчивости развиваются флуктуации и одна из них может подтолкнуть систему на конкретный путь перехода в новое состояние. Такой процесс носит случайный, вероятностный характер. После того как произойдет переход, назад возврата нет, система начинает новый эволюционный этап, определяемый стартовыми условиями совершившегося перехода.

Наблюдаемые изменения на современном этапе эволюции свидетельствуют о том, что биосфера и человечество как ее составная часть вступили в кризисный период своего развития. Кризис усугубляется многими неблагоприятными факторами. Так, впервые в своей истории человечество стало обладателем мощнейших источников энергии и токсичности — теперь за считанные минуты может быть уничтожено все живое на Земле. К счастью, осознание безумия использования подобных источников в традиционных способах решения межгосударственных конфликтов — в войнах — появилось раньше, чем дело дошло до самоуничтожения.

За угрозой ядерного, радиационного или токсического уничтожения биосферы вырисовывается другая, не менее страшная *экологическая катастрофа*. В ее основе — стихийная деятельность людей, сопровождающаяся повсеместным массовым загрязнением среды обитания, нарушением теплового баланса Земли и развитием парникового эффекта. В бли-

жайшей перспективе назревает истощение жизненно важных для человеческой цивилизации сырьевых источников планеты. К этому следует добавить демографический взрыв — очень быстрый рост численности населения с тяжелыми для биосферы последствиями.

Выход из надвигающегося экологического кризиса многие видят в радикальном изменении сознания людей, их нравственности, в отказе от взгляда на природу как объект бездушной эксплуатации ее человеком. Активность стихийной деятельности человека во многом зависит от этических норм его поведения. По мнению митрополита Волоколамского и Юрьевского Питирима, «...этические нормы поведения человека определяют как бытие, так и взаимодействие с окружающей средой. Земля отвечает не просто неурожайностью почвы или изменением климата на нарушение нравственного ведения хозяйства, но и способна, накапливая отрицательное воздействие, выражать тектоническими изменениями свою реакцию на поступки человека».

В.И. Вернадский и другие крупные ученые всеяют оптимизм и надежду: любые трудности человечество сможет преодолеть. Однако среди возможных устойчивых состояний, в которые биосфера как система сможет перейти в процессе самоорганизации, есть и такие, которые исключают жизнь на Земле или существование на ней человечества. А так как механизм перехода управляется случайными факторами, то вероятность таких неблагоприятных для человека вариантов достаточно высока. Например, по случайным причинам или преднамеренно может произойти самоуничтожение человечества в ядерном конфликте. Или к тем же результатам приведет неспособность справиться с надвигающейся экологической катастрофой. Благоприятный выход из неустойчивого состояния — образование ноосферы. Является ли в действительности переходный процесс в точке бифуркации независимым от воли человека, чисто случайным явлением?

Оказывается, присутствие в системе разума меняет ситуацию. Предотвратить переходный процесс в биосфере человек не в силах, но есть возможность свести к минимуму или исключить ее неблагоприятные флуктуации, которые и подталкивают неустойчивую систему к нежелательным для человека вариантам перехода. Например, запрещение и полное уничтожение ядерного и химического оружия (точнее, любого оружия массового уничтожения) устраняет флуктуацию, способную вызвать уничтожение биосферы в конфликте. Еще лучше, если будут достигнуты договоренности о значительном сокращении, а затем и полном уничтожении обычных видов вооружений. Тогда высвободятся огромные материальные, интеллектуальные и финансовые ресурсы, которые можно направить на предотвращение экологической катастрофы.

Значительно труднее решить экологическую проблему. Человечество не может (и не должно) отказаться от современной цивилизации — источника благополучия и комфортных условий жизни, и в то же время создающей неблагоприятные флуктуации, способные подтолкнуть биосферу на переход, исключающий возможность существования в ней человека. К сожалению, некоторые подобные флуктуации пока еще до конца не выявлены, что усложняет определение способов их подавления. Однако совершенно ясно, что экологические проблемы возможно решать только совместными усилиями всех стран и народов. Нет сомнений, что понадобятся осознанные людьми ограничительные меры: снижение потребления энергии, организация более экономного ведения промышленного производства, сокращение добычи и потребления важнейших полезных ископаемых. Необходимо, кроме того, изменить отношение человека к животному и растительному миру планеты, осознать демографические проблемы и сделать многое другое. Успешное решение всей совокупности возникающих экологических и иных проблем невозможно без научного предвидения результатов любой природопреобразующей и социальной деятельности людей, а также без создания налаженной системы управления и контроля при проведении в жизнь разрабатываемых мероприятий.

Научное предвидение предполагает знание алгоритма поведения системы при действии на нее управляющих и возмущающих факторов. Для сравнительно простых систем, обладающих линейным откликом на возмущающие воздействия, получить такой алгоритм не представляет труда. Хуже обстоит дело с системами, состояние которых определяется большим числом независимых параметров и параметров со сложным характером взаимосвязей. И еще хуже, когда сложная система — нелинейная и описывается функциями с разрывами. А биосфера и ее подсистемы принадлежат именно к системам такого типа. Подобные управленческие задачи пока не решаются, но активно ведутся поиски путей их решения. Скорее всего, на первых порах задача научного управления будет состоять в предотвращении разрушения биосферы на стадии ее перехода в ноосферу, в борьбе с экологической катастрофой. Это станет возможным лишь при условии глобального охвата основных сфер человеческой деятельности системами предвидения, управления и контроля. На этой основе человечество обеспечит вступление в ноосферу.

10.3. ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ И КЛИМАТ

Изменение климата. Климат планеты меняется на наших глазах. И подтверждают это природные катастрофы, все чаще обрушивающиеся на Землю. По расчетам климатологов, средняя температура планеты в конце

XXI в. поднимется на три градуса. А выводы, сделанные при исследовании Гренландского ледяного щита, говорят о возможном повторении драматических изменений от жаркого климата пустыни до холодов великого оледенения. Погода последнего времени, кажется, ни у кого не оставляет сомнения в том, что климат нашей планеты меняется. Появляются сообщения о небывалых наводнениях, разрушительных циклонах, тайфунах и смерчах. По сравнению с 60-ми годами XX в. число природных стихий на планете увеличилось вчетверо, скорости ветра возросли, материальный ущерб, приносимый стихиями, по меньшей мере удесятился.

Многие отмечают, что в последние несколько лет зимы стали теплее. Но только специалисты, на вооружении которых современные приборы и методы исследования, задолго до наших дней обнаружили признаки потепления атмосферы. Сто лет измерений массы глетчеров (ледников) в Альпах показали, что количество льда уменьшилось вдвое. За эти же сто лет уровень Мирового океана поднялся на 20 см. За последние годы темп пополнения океана увеличился, его уровень растет за десятилетие на 3 см. Мировой океан, преимущественно в тропических широтах, за последние 50 лет нагрелся в верхних слоях на 0,5 °C. Например, течение Эль-Ниньо в восточной части Тихого океана стало теплее, а поскольку размеры этого течения огромны, оно оказывает влияние на весь климат планеты.

В результате исследования климата в прошлом американские ученые пришли к выводу: Северное полушарие в XX в. оказалось наиболее теплым за последнее тысячелетие. За минувшие 100 лет средняя температура поверхности поднялась примерно на 1 °C. Если не удастся ослабить приводящий к потеплению парниковый эффект, то в XXI в. температура вырастет на 3—3,5 °C и климат планеты окажется самым теплым за несколько последних миллионов лет.

Ученые считают, что на 95% потепление Земли вызвано деятельностью человека, а не природными процессами. Основные источники парникового эффекта — углекислый газ, метан и др. Они выделяются в результате деятельности промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

Анализируя ледяные керны, получаемые при бурении Гренландского ледника на различной глубине, гамбургские климатологи сравнили колебания температуры за прошлое тысячелетие с теми изменениями, что происходят в последние годы. Увы! За десять веков такого процесса потепления, как сейчас, не наблюдалось. Нынешнее потепление — единственное в своем роде. Правда, сегодня оно чуть меньше, чем предвещали расчеты на компьютерных моделях, но этому найдено объяснение: оксиды серы, выделяемые производством, уменьшают прозрачность атмосферы и в результате на поверхность Земли падает меньше солнечных лучей.

На изменение температуры влияют и природные процессы и не зависящие от человека природные процессы, например извержение вулканов. Так, проснувшийся в 1991 г. на Филиппинах вулкан выбросил в атмосферу многие миллионы тонн частиц серы. И вот результаты: в следующем году средняя температура атмосферы понизилась на 0,4 °С, а в 1993 г. — на 0,2 °С. Между тем, в 1990 г. наблюдалась исключительно высокая температура. Однако, как показывает оценка специалистов, основная причина потепления — все же загрязнение биосферы.

Климат в прошлом. Примерно на три градуса теплее было в последний раз на Земле более 100 000 лет назад. В Центральной Европе тогда было так же тепло, как теперь в Африке. Через дубовые леса на севере Европы пробирались стада слонов, в реках плескались бегемоты, на берегах отдыхали львы — все это документально доказывают останки животных, найденные палеонтологами, и рисунки в пещерах на юге Франции.

Любопытно, что похолодание на те же три градуса произошло в последний ледниковый период, более 10 000 лет назад. Тогда половину Европы покрывал ледовый панцирь, уровень океана был на 120 м ниже, чем сейчас, животный мир — сродни сегодняшнему арктическому. В истории человечества этот период отмечен распадом сложившихся крупных объединений людей — небольшие группы легче перемещались и успешнее охотились. Люди вынуждены были отступать к югу. Есть много признаков того, что поворот к холодному климату стал «повивальной бабкой» для *Homo sapiens* — заставил людей больше думать и работать.

Заглянем в прошлое еще глубже. Примерно 5 млн. лет назад Гималаи выросли так, что изменили направление ветров. Почти высохло Средиземное море. В Северном полушарии стало холоднее, а почва получала мало влаги — дожди были редкостью. В центре Африки ранее пышные леса поредели, зато саванна раскинулась во всю ширь. Добывать пищу стало труднее.

Когда 10 000 лет назад закончилось последнее оледенение, растаяли гигантские массы льда, уровень Мирового океана поднялся на сто с лишним метров. Человечество вынуждено было спасаться от нашествия океана — ведь большинство людей жило на берегах морей, занимаясь в основном рыболовством. Возможно, эта невиданная по масштабам природная катастрофа нашла отражение в библейском сказании о потопе. Воспоминания о невиданном наводнении есть в преданиях и мифах многих народов. Уцелевшие в этой катастрофе были вознаграждены очень мягким и теплым климатом. Там, где сейчас лежат мертвые пески Сахары, в те времена росли маслины, кипарисы, лавр. Через Северную Африку текли полноводные реки. В Месопотамии и Египте закладывались первые древнейшие цивилизации, которые удивляют и сегодня.

Окончание ледникового периода ознаменовалось стабильностью климата — средняя температура на планете с тех пор не отклонялась больше чем на один градус. Но изменения температуры даже в столь малых пределах сказались на судьбе человечества. По мнению многих авторитетных ученых, минимальное охлаждение послужило причиной великого переселения народов, а позже — и нашествия монголов. С другой стороны, повышение температуры на полградуса позволило кельтам в Шотландии заниматься виноградарством, а викингам — разводить скот на зеленых лугах Гренландии. «Средневековая весна» — от 800 до 1300 г. — позволила европейцам возвести великолепные готические храмы: Нотр-Дам в Париже, соборы в Реймсе, в Солсбери и других городах.

Но вот новый поворот климата. В 1212 г. погибло около 300 000 голландцев в результате внезапно разразившейся бури, вызвавшей наводнение. Снижение среднегодовой температуры только на один градус привело к тому, что Европа и многие районы других континентов погрузились на несколько веков в так называемое «малое оледенение» (оно закончилось в середине XIX в.). Лето в этот период было дождливым, зима холодная, во многих до тех пор плодородных местах не вызревали хлеба, растения болели — на ржи появились грибы-паразиты. Люди, потреблявшие хлеб из такого зерна, заболели вялостью мускулатуры. Начался страшный голод. Средняя продолжительность жизни сократилась на 10 лет. Многие селения вымирали, города опустели. Предполагается, что именно такие условия способствовали эпидемиям чумы, не раз опустошавшей села и города. Европа потеряла примерно 25 млн. жителей. Многие ученые связывают случившиеся беды с изменениями климата.

Долгосрочные прогнозы. Результаты исследований с применением математических компьютерных моделей не оставляют сомнения в том, что при сохранении выбросов в атмосферу на прежнем уровне первым пострадает от большой жары Южное полушарие. Там станет гораздо суше, чем теперь. Повышение температуры на два градуса уменьшит и без того скудные осадки на 10%. Пруды высохнут, почва растрескается, возникнут пустыни в Южной Испании, Греции, на Среднем Востоке, не говоря уже о захвате африканскими пустынями новых тысяч квадратных километров ныне еще живых мест. Южные штаты США будут напоминать сегодняшние пустыни Аризоны и Невады.

В то же время в Северном полушарии станет теплее и более влажно. Германия, например, приблизится по климатическим условиям к теперешней Италии. На месте вечной мерзлоты в Сибири будет созревать пшеница, а на берегах Балтийского и Северного морей появятся тропические растения. Значит ли это, что в таких местах наступят райские времена? Климатологи не столь уж оптимистичны. Потепление будет сопровождаться частыми дождями, не всегда благоприятными для сельского хо-

зяйства. 120-летняя погодная статистика позволяет заключить, что в Северном полушарии изменяется пропорция между дождями и снегом. Европейцы должны будут свыкнуться с зимними дождями и с засушливым летом. Жителям Севера придется встретиться с новыми для них инфекциями, до сих пор распространенными в южных широтах. Тропическая малярия, желтая лихорадка — эти болезни в последние годы расширили свои территории в Южной Америке, Азии и Африке. По оценкам голландских ученых, в новых климатических условиях ежегодно до 80 млн. жителей Севера могут стать жертвами опасных для жизни заболеваний, пришедших с Юга. Столкновение населения северных широт с неизвестными ему болезнями — одна из серьезнейших проблем климатических перемен.

Кому же парниковый эффект принесет пользу, а кому убытки? На этот вопрос еще, пожалуй, никто не может ответить точно, хотя изменения климата — уже не научная гипотеза и не только показания чувствительных приборов, а явление, развертывающееся у всех на глазах. Западные специалисты отваживаются делать некоторые прогнозы. Северные государства — Россия и Канада — смогут увеличить производство пшеницы на 30%, тогда как, например, в таких южных государствах, как Пакистан или Бразилия, на те же 30% уменьшится урожай. Вернее сказать, перемены климата ударят с одинаковой силой как по Югу, так и по Северу. Бури еще неведомой силы будут атаковать не только экватор, но и средние широты. Ученые прогнозируют шторм (циклон), которого еще не было на Земле: он будет способен сокрушить небоскребы Нью-Йорка или Токио и в считанные секунды уничтожить то, что создавалось поколениями людей.

Особую настороженность климатологов вызывают тропические циклоны, образующиеся в зонах, где температура поверхности океана превышает 26 °С. Раньше такие зоны занимали сравнительно небольшие площади, но при продолжающемся нагреве атмосферы области, порождающие циклоны, могут стать устрашающе большими. И тогда циклоны выйдут за пределы тропической зоны, станут появляться в океане у берегов Европы или в пределах Средиземного моря. Подобный циклон уже возник и достиг Ирландии, правда, в ослабленном виде.

В последнее время особенно часто стали посещать зимние бури Европу — континент не защищен горами вплоть до Урала. Раньше основным препятствием на пути сильных ветров с Атлантики был антициклон, такой массивный, что он, как высокий хребет, рассекал ветры с океана и направлял на юг и на север. В последние годы этот антициклон из-за мягких зим ослабел и не сдерживает ураганы с запада. Области низкого давления стали проникать в Центральную и Восточную Европу. Ежегодно могут повторяться опустошительные наводнения той же силы, какую они про-

демонстрировали весной 1997 г., затопив многие большие города Европы. Правда, некоторые специалисты одну из причин наводнений объясняют тем, что реки искусственно спрямлены и перегорожены плотинами и из-за этого потеряли подготовленные природой места разливов. Есть и другая причина разгула водной стихии. Все чаще в Европе зимой идет дождь, а не снег. Многие возвышенности всю зиму остаются без снежных покровов. При потеплении снег тает не мгновенно, а постепенно, дождевая же вода скатывается в ложбины и русла без задержки.

Жители долин рек и морского побережья с приближением потепления будут страдать от затоплений в разные времена года. В некоторых странах уже обсуждаются законы, запрещающие строительство жилья в местах, подверженных стихийным катастрофам. Однако подобное законодательство в той или иной степени приемлемо для стран, занимающих большие площади. А что делать такой стране, как Бангладеш с ее населением в 115 млн., расположенной в глубокой и протяженной долине реки Брахмапутры, сливающейся затем с Гангом (обе реки являются крупнейшими реками планеты), к тому же здесь вода будет поступать не только из верховьев реки, но и из моря? Такой вопрос остается пока без ответа.

Потепление климата поднимет уровень Мирового океана вследствие таяния ледников в горах, уменьшения ледяной шапки Антарктиды и температурного расширения воды. Наступающий океан в следующем столетии отнимет у суши вдоль берегов примерно 5 млн. км² — это половина площади Европы.

По подсчетам ученых, защита от наступающего океана густонаселенных низменных берегов, приморских городов и портовых сооружений обойдется в целом миру без малого в 500 млрд. долл. Оплатить столь большие расходы, вероятно, смогут лишь индустриальные страны — развивающимся странам они не по карману. Развитые страны могут выделить для защиты своих берегов определенную долю совокупного национального дохода. Жителям же, например, Мальдивских островов, на которых самая высокая точка возвышается всего на 3 м над уровнем океана, придется расплачиваться более чем третью валового национального дохода. Они будут вынуждены переселиться в более безопасные места.

Равновесие климата. Новейшие изыскания палеоклиматологов дают основания утверждать, что компьютерные модели рисуют неполную, размытую картину того, что ожидает человечество, когда парниковый эффект скажется в полной мере. Об этом свидетельствуют результаты многолетней работы экспедиций на Гренландском ледяном щите. Пробурено 3 км льда — последние слои льда отложились на каменную скалу 250 000 лет назад. Важные сведения дают мельчайшие воздушные пузырьки, включенные в лед. По соотношению двух изотопов кислорода

в воздухе такого пузырька можно судить, при какой температуре воздух был заключен в лед при его образовании.

Исследуя пузырьки воздуха, находящиеся в слоях льда, имеющего возраст 125 000 лет, климатологи сделали сенсационное открытие. Обнаружилась странная закономерность: средняя температура в течение десяти лет внезапно упала на 14°C. Так продолжалось 70 лет, затем так же внезапно температура вернулась в прежнее состояние, и надолго. Но после этого опять так же резко наступили холода. Температура несколько раз «прыгала» таким образом то вниз, то вверх. Выводы гренландской экспедиции, проводимой европейцами, вызвали у некоторых ученых сомнения. Однако американский исследователь в той же Гренландии на расстоянии 30 км от европейской скважины пробурил свою. Полученный им результат подтвердил факт необъяснимых прыжков температуры.

Гренландия — это своеобразная кухня европейской погоды. Следовательно, весь континент через десятилетия то погружался в северосибирскую стужу, то разогревался до тропической жары. Полученные данные заставили всерьез задуматься всех климатологов. Температура в теплый период превышала сегодняшнюю среднюю глобальную температуру всего на три градуса. В этом смысле тот период — некий провозвестник ожидаемого нами повышения температуры из-за парникового потепления Земли. Что, если вызванное человеческой деятельностью потепление приведет к такому же нестабильному состоянию климата — скачкам от холодных периодов к очень теплым? Тогда европейцам придется то приспособливаться к жизни в пустыне, то замерзать, как мерзли неандертальцы во времена великого оледенения. Такая перспектива, конечно, страшнее, чем все другие сценарии предполагаемого развития климата на Земле (правда, не все ученые разделяют эту точку зрения). К всеобщему потеплению растения приспособиться еще могут, как и вообще сельское хозяйство, но к резкому изменению высокой температуры на низкую — несомненно, нет.

Исследователи предполагают, что драматический сценарий климата может быть вызван изменениями атлантических течений. В Атлантике в районе Исландии — Гренландии вращается, можно сказать, «тепловой вал». Поверхностный поток, несущий в 20 раз больше воды, чем все реки Земли, — известный Гольфстрим, — в этом месте остывает окончательно, поворачивает вниз и течет на юг. Там вода, нагреваясь, всплывает вверх и снова течет на север, неся с собой огромное количество тепла. Океан чрезвычайно чувствителен к изменениям климата. Например, циркуляция Гольфстрима может остановиться, если на каком-либо участке его пути, предположим, остывшая вода Гольфстрима не сможет, как обычно, нырнуть на севере ко дну из-за того, что ее разбавит пресная вода растаявших ледников, и она потеряет соленость и станет легче, — а это

может случиться при потеплении климата. Тогда «машина» для переноса тепла на север остановится. Европа по климату превратится в Аляску, и это будет продолжаться до тех пор, пока северная часть Гольфстрима не станет опять солонее.

Только в последние 10 000 лет не было ощутимых помех в установившемся равновесии климата, оказавшегося стабильным. Но никто не знает причин этого! Человечеству предоставилась счастливая возможность жить в таких исключительно стабильных климатических условиях, и оно должно помнить: производя те или иные действия, связанные с вторжением в биосферу, нельзя нарушать установленное самой природой равновесие климата.

10.4. ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ И КИСЛОТНЫЕ ОСАДКИ

Парниковый эффект. В результате многогранной деятельности человека в атмосфере возрастает содержание многих газов и их примесей. Некоторые из них — углекислый газ, метан, водяной пар и др. — пропускают падающий на поверхность Земли солнечный свет, нагревающий ее, и в то же время экранируют длинноволновое тепловое излучение Земли. При этом тепло медленно накапливается в ближайшем к поверхности Земли атмосферном слое. Так возникает *парниковый эффект*, вызывающий глобальное потепление.

Первая научная работа о парниковом эффекте была опубликована в 1896 г. шведским физиком и химиком С. Аррениусом (1859—1927). Анализируя изменение состава атмосферы при промышленном сжигании угля, он пришел к выводу, что в результате деятельности человека может произойти радикальное изменение погоды в глобальных масштабах. Из его расчетов следовало, что при увеличении содержания углекислого газа в атмосфере вдвое температура на земном шаре может повыситься в среднем на 4—6 °С (позднее он уточнил, что цифры были несколько завышены). Известные в то время методы исследований не позволяли экспериментально подтвердить выводы ученого. В результате регулярных измерений концентрации углекислого газа в атмосфере, начавшихся в середине XX в., установлено: с течением времени концентрация углекислого газа в атмосфере медленно возрастает.

В 80-х годах XX в. на советской антарктической станции «Восток» при глубоком бурении и анализе химического состава воздушных пузырьков в слое льда обнаружено изменение концентрации углекислого газа за 160 тыс. лет. При этом косвенным путем определялось изменение температуры за тот же период времени. При сопоставлении полученных данных выявлена корреляция изменений концентрации углекислого газа

и температуры. В результате сделан вывод: за указанный период времени углекислый газ вносил заметный вклад в парниковый эффект.

К настоящему времени известно, что парниковый эффект обуславливается не только углекислым газом. Однако и другие газы: хлорфторуглерод (фреон), метан, пары воды (на большой высоте), соединения азота, озон — все вместе вносят существенный вклад в парниковый эффект — около 50%. Их общий вклад составляет около 50%. Постепенное сокращение производства фреонов с целью защиты озонового слоя в определенной степени способствует замедлению парникового эффекта. Основные источники метана — рисовые поля, болота, отходы животноводства т.п. Соединения азота образуются при разложении биомассы, сгорании угля и нефтепродуктов. Они сохраняются в атмосфере длительное время — более 150 лет, а метан — 14 лет.

Согласно данным, полученным с помощью французско-американского спутника, уровень Мирового океана в последнее время ежегодно поднимается на 1—3 мм. Предполагается, что это связано с общим потеплением климата, причем не только с таянием льдов, но и с термическим расширением воды. Систематические наблюдения показывают: в последние десятилетия появились признаки общей тенденции — климат на Земле теплеет. Есть и другие доказательства такого вывода. Так, относительно недавно в водах, омывающих Антарктиду, кораблю впервые удалось пройти вокруг острова Джеймса Росса. До сих пор проливы там были закрыты монолитными льдами. Лыдина площадью в 4,2 тыс. км² откололась от остального массива льда: температура в этих местах на 2,5 °С превысила среднюю многолетнюю. Предполагается, что началось таяние южной полярной шапки планеты.

С течением времени средняя температура поверхности нашей планеты колеблется, но прослеживается тенденция ее повышения (рис. 10.2), которое можно объяснить прежде всего ростом количества сжигаемого топлива. Рекордным по потреблению ископаемого топлива стал 1996 г. — израсходовано около 8 млрд. т условного топлива. По сравнению с 1992 г. в 1997 г. было сожжено примерно на 500 млн. т условного топлива больше, а следовательно, увеличился и выброс в атмосферу продуктов горения. Хотя в 1996 г. температура на нашей планете понизилась на 0,08 °С, но в среднем в последнем десятилетии наблюдалось потепление.

При восстановлении нормального состава атмосферы важное значение имеет биогеохимический круговорот углерода с участием растительности. Различные растения, в том числе и крупные лесные массивы, часто называемые легкими Земли, поглощают углекислый газ и поставляют кислород, столь необходимый всему живому. Однако в наше время таким легким нанесены серьезные, опасные раны, и их необходимо залечивать. Только в период с 1980 по 1995 г. истреблено около 180 млн. га леса. Это



Р и с. 10.2. Повышение температуры поверхности Земли

площадь такой страны, как Мексика! Следует, однако, отметить, что в тропических широтах рубка леса несколько замедлилась, и, кроме того, во многих странах периодически производится посадка молодых лесов.

Интенсивное развитие промышленности и прежде всего рост производства автотранспорта ведет к непрерывному повышению концентрации углекислого газа в атмосфере — в XX в. она увеличилась на 20%. Как это может сказаться на продуктивности биоты — исторически сложившихся комплексов живых организмов? Предполагается, что общая продуктивность биоты не изменится, но произойдет ее перераспределение по различным географическим зонам.

Известные оценки глобального экологического состояния нашей планеты носят дискуссионный характер. Окончательные выводы делать очень опасно. Так, например, по некоторым расчетам, в начале XXI в. средняя температура планеты повысится на 0,5—0,6 градуса. Однако и колебания температуры могут составлять плюс-минус 1 °C. В этой связи возникает вопрос: является ли наблюдаемое потепление естественным процессом или это проявление усиливающегося парникового эффекта? Многие климатологи считают: парниковый эффект есть — это бесспорно. Учитывать его безусловно надо, но говорить о неизбежности трагедии не следует. Человек может и должен сделать многое, чтобы предотвратить надвигающуюся экологическую катастрофу или, по крайней мере, смягчить нежелательные последствия наблюдаемых явлений.

Кислотные осадки. *Кислотные осадки* являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Кислотные соединения (преимущественно производные оксидов серы и азота) образуются естественным образом во время грозы, при извержении вулканов, в результате жизнедеятельности бактерий. Но все же ощутимая масса кислотных соединений содержится в выбрасываемых газах автомобильного транспорта, теплоэлектростанций, различных плавильных печей и т. п.



Систематические наблюдения показывают, что в некоторых местах выпадают осадки, приближающиеся по кислотности к столовому уксусу. Масштабы ущерба от них огромны. Обнаруживаются все новые формы их проявления. Если вначале оценивался вред, приносимый кислотными дождями преимущественно озерным и речным экосистемам, то в дальнейшем стали учитываться и такие их последствия, как повреждение зданий, мостов и других сооружений. Труднее всего оценить влияние кислотных осадков на живую природу, в том числе и на здоровье человека. Особенно большой вред наносится озерам, вода которых не содержит щелочных соединений, способных нейтрализовать кислотность. В кислой воде озер замедляется рост растений и водорослей, сокращаются или вообще исчезают популяции рыб. Кислотные осадки снижают плодородие почвы и, как следствие, падает урожайность культурных растений. Нейтрализация почвы требует больших материальных затрат.

Кислотные соединения, попадая в атмосферу, вне зависимости от их природы распространяются на сравнительно большие расстояния от их источника (рис. 10.3). Они выпадают в виде дождя, снега (мокрые осадки) или в виде аэрозолей (сухие осадки).

Сравнительно высокий уровень кислотных загрязнений дают тепловые электростанции, работающие на угле, содержащем серу большой концентрации, которая при сжигании превращается в газообразный диоксид серы и выбрасывается из дымовых труб. Перемещаясь в атмосфере,

диоксид серы медленно реагирует с парами воды, образуя серную кислоту.

Образование оксидов азота, их химическое превращение и выведение из атмосферы — довольно сложный процесс. Азот и кислород, нагреваемые до высоких температур в силовых установках, доменных печах и автомобильных двигателях, превращаются в монооксид азота NO , который, вступая в реакцию окисления, образует диоксид NO_2 , а иногда и азотную кислоту HNO_3 . Основным источником диоксидов азота является не топливо, а содержащийся в воздухе азот, если температура горения превышает 1000°C .

Для уменьшения содержания оксидов серы и азота применяются различные методы. Так, при сжигании угля производится предварительное его измельчение с последующим промыванием водой, что позволяет удалить 25—50% серы. При гидрировании нефти и нефтепродуктов с повышением давления содержащаяся в них сера переходит в соединение H_2S , легко отделяемое от сконденсированного топлива. Сравнительно недавно предложен высокоэффективный метод очистки: сжигание топлива в виде смеси угля и известковой пыли при температуре $800\text{—}900^\circ\text{C}$; при этом удаляется до 90 % серы и одновременно предотвращается образование оксидов азота. С применением катализаторов можно произвести дальнейшую очистку. Для обезвреживания выхлопных газов автомобилей применяются различные способы очистки: частичный возврат выхлопных газов, применение обедненной топливной смеси, использование катализаторов и др.

Химический анализ состава атмосферы, внедрение высокочувствительных приборов для определения концентрации газовых примесей в воздухе, изучение кинетики и динамики основных атмосферных реакций и создание новых эффективных методов, позволяющих сократить вредные выбросы, приводящие к кислотным осадкам, — вот важнейшие задачи, от успешного решения которых зависит сохранение естественного состояния окружающей среды.

10.5. СОХРАНЕНИЕ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Озоновому слою Земли посвящено сравнительно много публикаций: в одних утверждается, что озоновый слой исчезает быстро и необратимо и жить человечеству осталось недолго, а в других — авторитетное успокоение: озоновые дыры существовали всегда, и это нормальный естественный процесс, на который человечество никак повлиять не может. Так что же происходит на самом деле с атмосферным озоном?

Озон O_3 представляет собой едкий, слегка голубоватый газ. Его молекула состоит из трех атомов кислорода. Озон — одна из наиболее важных

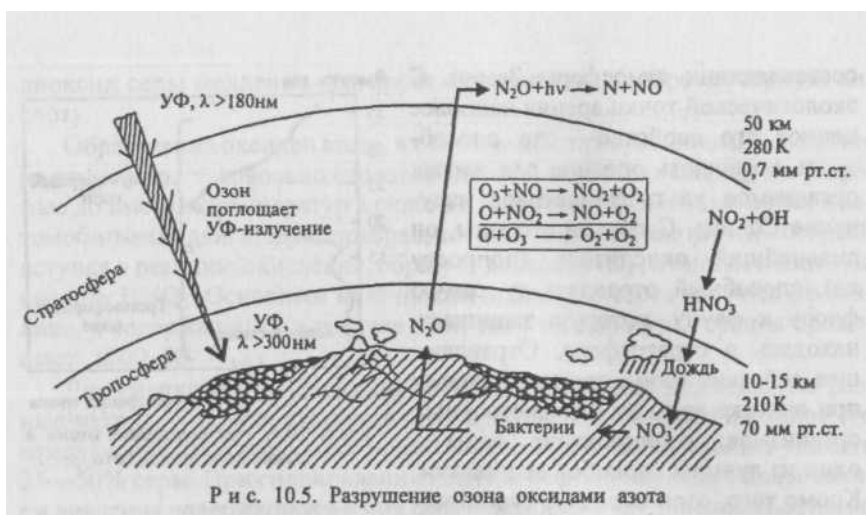
составляющих атмосферы Земли. С экологической точки зрения наиболее ценное его свойство — это способность поглощать опасное для живых организмов ультрафиолетовое излучение Солнца. С другой стороны, он сильнейший окислитель (попросту яд), способный отравлять ту самую флору и фауну, которую защищает, находясь в стратосфере. Отравляющее действие озона приносит пользу при очистке воды от болезнетворных организмов: озонирование воды — один из лучших способов ее очистки. Кроме того, озон обладает свойством парникового газа, влияющего на изменение климата.

С точки зрения различных функций и свойств один и тот же по химическому составу озон можно условно разделить на «плохой» и «хороший». «Плохой» озон, входящий в состав фотохимического смога, поразившего многие крупные города, находится в приземном слое тропосферы и, достигнув определенных концентраций, представляет опасность для всего живого. Однако основная часть озона сосредоточена в стратосфере, расположенной над тропосферой на высоте 8 км над полюсами, 17 км над экватором и простирающийся вверх на высоту примерно 50 км. Это — «хороший» озон: он защищает все живое от опасного ультрафиолетового излучения.

Проблемы разрушения озонового слоя и образования городского смога часто обсуждаются в средствах массовой информации, и это дает повод полагать, что в атмосфере Земли содержится слишком много озона. Действительно, его может оказаться слишком много в тропосфере, где он наносит вред флоре и фауне, и слишком мало там, где он выполняет защитную функцию. В целом же общее количество озона в атмосфере сравнительно мало: если его сжать до плотности воздуха у поверхности Земли, то получится слой толщиной примерно 3,5 мм. Концентрация озона в атмосфере зависит от географической широты, высоты, времени года, активности Солнца, техногенного воздействия и т.п. Естественные ее колебания могут достигать 25%. Распределение озона по высоте представлено на рис. 10.4, где концентрация дана в условных единицах, соответствующих давлению в миллипаскалях (мПа). В стратосфере сосредоточено 90% всего озона, 10% — в тропосфере, частично в смоге. Больше всего озона находится на высоте 20—25 км, где его концентрация превышает 30 мПа, 27–3290



Р и с. 10.4. Распределение озона в атмосфере по высоте

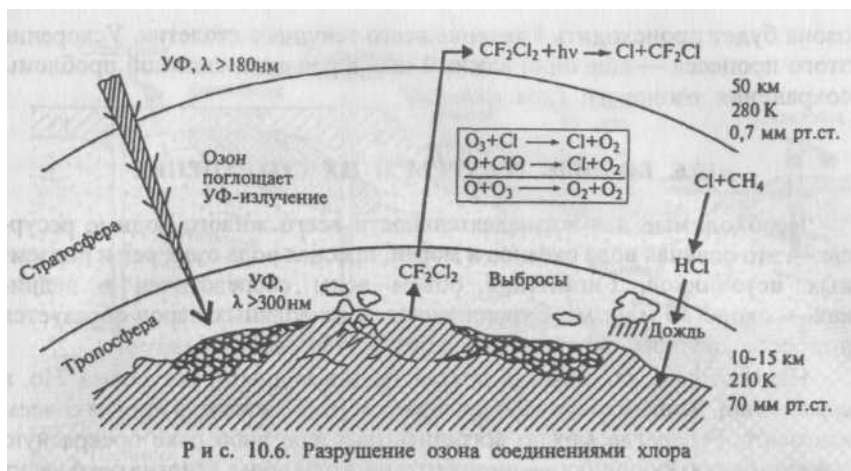


что соответствует примерно одной молекуле озона на 100 000 молекул воздуха.

В процессе развития жизни на Земле совершенно случайно оказалось, что озон, образовавшийся в древней земной атмосфере, и клетки живых организмов поглощают биологически опасное коротковолновое излучение Солнца в одном и том же диапазоне длин волн 230—290 нм. Опасное воздействие ультрафиолетового излучения на живую клетку заключается в том, что оно повреждает молекулы ДНК, поглощающие его сильнее, чем молекулы белков клетки. С формированием озонового слоя появилась, может быть, единственная возможность во Вселенной для развития большого разнообразия живых форм, включая человека. Поэтому весьма важно представлять механизмы образования и разрушения озона.

Основной источник озона в атмосфере — молекулярный кислород O₂, который под действием ультрафиолетового излучения распадается на атомы. Атомы кислорода O вступают в связь с молекулами O₂, образуя молекулы озона O₃. Атомарный кислород образуется на высоте выше 20 км при расщеплении молекулы кислорода ультрафиолетовым излучением с длиной волны не более 240 нм. В нижние слои атмосферы такое излучение не проникает, и здесь атомы кислорода образуются в основном при фотодиссоциации двуокиси азота под действием МЯГКОГО ультрафиолетового излучения с длиной волны более 300 нм (рис. 10.5).

Поскольку связь атома O с молекулой O₂ в озоне слабая, достаточно видимого света, чтобы молекула озона распалась на исходные составляющие. Если бы после образования озона можно было изолировать солнечное излучение, то озон сохранялся бы в атмосфере довольно долго. Так



оно в действительности и происходит: накопленный за день в стратосфере озон за ночь не распадается.

Ускорению естественного распада озона способствует его взаимодействие с частицами, содержащими Cl, Br, NO, OH, среди которых наиболее опасны хлор и бром и особенно хлор, входящий в состав различных видов фреонов. При взаимодействии атомов хлора с озоном образуется оксид хлора и кислород (рис. 10.6). Несмотря на то что скорость появления атомов хлора из фреонов в стратосфере в миллионы раз меньше скорости образования молекул озона при солнечном излучении, один атом хлора может разрушить сотни тысяч молекул озона. Происходит цепная реакция, включающая сотни тысяч звеньев. Этот механизм разрушения озона имеет антропогенный характер: фреоны стали производиться человеком во второй половине XX в. и широко использоваться в качестве хладагентов в холодильниках, пенообразующих агентов в огнетушителях, аэрозольных наполнителей, при химической очистке одежды, при производстве пенопластов и т.п. Молекулы фреонов довольно устойчивы, плохо растворяются в воде и легко проходят тропосферу, достигая стратосферы, где сконцентрирован озон.

Наиболее яркое проявление антропогенного воздействия на озоновый слой Земли — это антарктическая озоновая дыра, в которой истощение озона составляет более 50%. После осознания последствий разрушения озонового слоя антропогенными источниками были сделаны важные шаги — приняты Венская конвенция (1985) и Монреальский протокол (1987), запрещающие производство озоноразрушающих веществ. По мере сокращения их производства в последнее время отмечается некоторая стабилизация в содержании озона в стратосфере и даже тенденция к его восстановлению. Расчеты показывают, что процесс восстановления

озона будет происходить в течение всего текущего столетия. Ускорение этого процесса — еще один важный шаг в решении сложной проблемы сохранения озонового слоя.

10.6. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ СОХРАНЕНИЕ

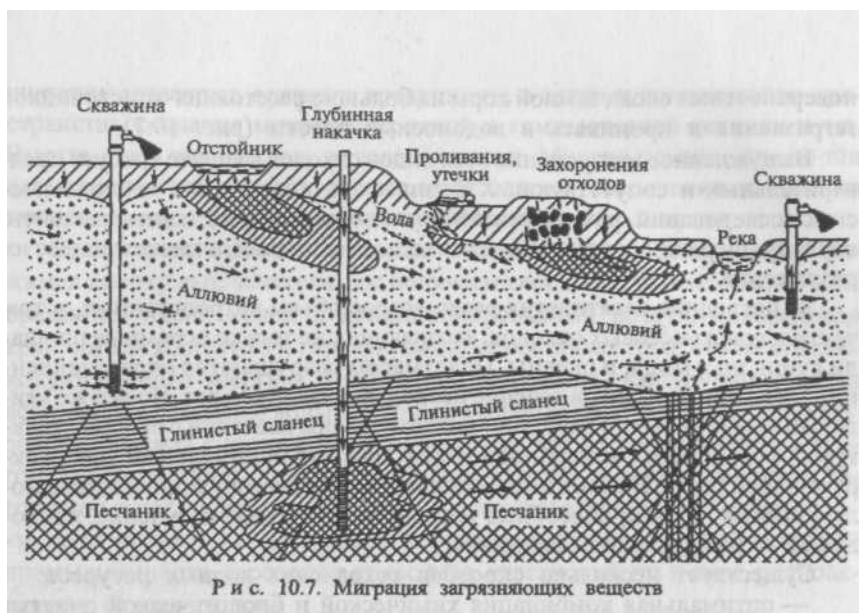
Необходимые для жизнедеятельности всего живого водные ресурсы — это соленая вода океанов и морей, пресная вода озер, рек и подземных источников. Гигантский объем воды сосредоточен в ледниках — около 30 млн. м³. Существенная доля водяных паров образуется при естественном испарении поверхностных вод.

Наша страна, как никакая другая, богата водными ресурсами. Но, к сожалению, многие озера заболачиваются, реки мелеют, а иногда совсем исчезают. Редко где можно встретить на озере либо реке прекрасную снежно-белую кувшинку — индикатор чистоты воды. Многие реки несут непомерную нагрузку. Можно было бы говорить обо всех реках, но остановимся на одной из них — Волге. Проблемы Волги — это проблемы не только всех рек и всей России, но и всей планеты в целом.

Сравнительно недавно, в середине XX в., за годы «великихстроек» Волга, крупнейшая река Европы, превратилась в цепь каналов, шлюзов и водохранилищ. Теперь многие понимают, что такое превращение оборачивается серьезными бедствиями.

По данным Института литосферы РАН, большая часть волжского бассейна находится в критическом состоянии. Ежегодно в Волгу поступает более 300 млн. т минеральных веществ, 64 тыс. т фенола, более 100 тыс. т соединений железа, более 6 млн. т сульфата, свыше 10 млн. т хлоридов и т.д. В бассейн Волги в 1990 г. было сброшено 23,3 км³ сточных вод. Из них совершенно неочищенных — 1,9, мало очищенных — 9,6, так называемых нормативно очищенных, а на самом деле тоже недостаточно очищенных — 1,6 км³. Основная масса загрязненных вод, как ни странно, поступает через сети коммунального хозяйства, а на долю промышленных отходов приходится меньше половины. Сокращение объема пресноводного стока с завершением строительства Нижнекамского и Куйбышевского водохранилищ и загрязнение воды привели к тому, что за последние 35 лет годовая лов рыбы в Волго-Каспийском регионе снизился в восемь раз. Судака стало меньше в 24, леща в 4,5, сельди — в 16 раз. Рыба гибнет в основном из-за того, что количество фенола, ионов меди, цинка, нефтепродуктов и пестицидов в волжской воде в последние годы превышает допустимые нормы в десятки и сотни раз. А с конца 70-х годов XX в. резко повысилось содержание азота, фосфора и органических веществ.

Очевидно, если вода в Волге будет чистой, то и рыба в ней не переведется. Многие ли знают, что для рыб вода должна быть чище, чем питье-



вая? Воду, не пригодную для рыбы, люди в соответствии с установленными нормами пить могут. Мы должны стремиться к тому, чтобы на питьевую воду были установлены те же нормы, что и для рыб.

Каков же материальный ущерб, нанесенный Волге строительством целого комплекса ГЭС? Ежегодные потери из-за недополучения продукции при затоплении более 1 млн. га сельскохозяйственных земель оцениваются — в 16 млрд. долл. и из-за потери рыбных запасов — в 4–6 млрд. долл. Если учесть эти потери, то по себестоимости электроэнергии действующие ГЭС станут невыгодными по сравнению, например, даже с ТЭЦ. Но остановить их работу, одновременно и сразу спустить воду невозможно — энергия нужна всем. Значит, надо искать способы реконструировать ГЭС таким образом, чтобы они наносили минимальный ущерб природе.

Загрязняются и подвергаются воздействию не только воды рек, но и грунтовые воды прежде всего различными видами отходов. Применяемые в течение длительного времени способы захоронения бытовых и промышленных отходов основывались на том, что миграция отходов маловероятна и что со временем содержащиеся в них соединения окисляются, гидролизуются или перерабатываются бактериями в безвредные продукты. Однако результаты исследований показали, что некоторые виды отходов слабо разлагаются и способны мигрировать, а часть их перерабатывается бактериями не в безвредные, а в токсичные вещества. Загрязняющие вещества от различных источников могут распространяться в

поверхностных слоях земной коры на большие расстояния от источников загрязнения и проникать в водоносные пласты (рис. 10.7).

Вынужденное захоронение всех видов отходов в грунте требует предварительных и сопутствующих физических, химических и биологических исследований, результаты которых позволят представить реальную картину миграции составляющих отходы соединений, а также процесс их разложения.

За последние десятилетия резко возрос объем антропогенных, в том числе и пластмассовых отходов, засоряющих не только огромные площади суши, но и моря, и океаны. Пластмассы разрушаются очень медленно — некоторые из них в течение нескольких десятков лет. Но все же усилиями химиков выход найден — синтезированы пластики с особой структурой и свойствами, отходы от которых наносят минимальный ущерб окружающей среде. В такие пластики внедряются светочувствительные молекулярные группы, способные поглощать солнечное излучение, приводящее к расщеплению полимера.

Существует несколько способов сохранения водных ресурсов:

- оптимальная комбинация химической и биологической очистки сточных вод;
- применение дополнительных средств очистки сточных вод, содержащих особо стойкие вещества;
- внедрение озонирования воды для ее обеззараживания;
- окисление загрязняющих веществ при высокой температуре и высоком давлении;
- высокотемпературное сжигание отходов и обработка их адсорбентами и ионообменными смолами;
- циклическое применение воды при теплоотводе от различных механизмов и агрегатов;
- возвращение в производственный цикл ценных веществ, например металлов, вызывающих загрязнение почвы и воды;
- создание быстроразлагающихся заменителей пестицидов, широко применяемых как средство борьбы с болезнями и вредителями растений.

Успешное решение проблемы сохранения окружающей среды, в том числе водных ресурсов, зависит не только от ученых, специально занимающихся данной проблемой и предлагающих эффективные методы очистки воды, но и от всех людей, бережно относящихся к природе, в том числе и к водным ресурсам.

10.7. ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И СРЕДА НАШЕГО ОБИТАНИЯ

Прошедшее столетие непременно войдет в историю человечества как век стремительного роста городов, бурного развития грузового и легкового транспорта, интенсивного строительства протяженных дорог и рас-

ширения автострад, освоения воздушного, а затем и космического пространства, создания микроэлектронной и компьютерной техники и т.д. Вместе с тем это был век дешевой энергии. Многие помнят, что не так давно воздвигали громадные дома, не заботясь о теплоизоляции, строили гиганты-заводы без надлежащего учета экономии энергии и т.д.

Стало привычным и обыденным массовое потребление энергии: нажимая кнопку выключателя, мы получаем свет, звук, телевизионное изображение, тепло, холод и кондиционированный воздух, поворачивая кран, имеем холодную и горячую воду, не осознавая того, что на это расходуется много энергии. Достаточно представить, как трудно поднять всего лишь одно ведро воды хотя бы на второй этаж, не говоря о более высоких. Нажимая кнопку и поворачивая кран, мы не задумываемся о другой стороне медали: затопленные большие площади полезных земель, затопленные села и даже города, громадные горы отходов, кислотные осадки, загрязнение природной среды нефтью и отходами нефтяной и газовой промышленности, аэрозоли в атмосфере, углекислый газ и смог, радиоактивные отходы и т.п.

Описание подобной картины последствий производства и потребления энергии можно было бы продолжить. Но и без того понятно: сберегая энергию, мы сохраняем природную среду нашего обитания. Несомненно, бережное, рачительное отношение к энергии касается не только семейного бюджета — оно непосредственно связано с дальнейшим развитием цивилизации. Такое отношение должно прививаться каждому человеку еще в раннем возрасте. Им должны руководствоваться не только профессионалы-экологи и энергетики, а буквально все люди вне зависимости от профессии и занятий.

Проблемы производства энергии и ее сбережения не новы: ими занимались всегда и в первую очередь, конечно, ученые. Однако только сравнительно недавно начиная с 1974 г. на государственном уровне начали осознавать, что эпоха дешевой энергии завершается. Напомним, что в 1974 г. после введения арабскими странами эмбарго на продажу важнейшего энергоносителя — нефти — последовало шестикратное увеличение цен на нее. Может показаться, что такое повышение цены имеет политическую окраску, с чем нельзя не согласиться. Но в данном случае за политикой кроется реальная экономика: США, многие страны Западной Европы и Японии потребляют гораздо больше энергии, чем получают из собственных источников, и сокращение поставки энергоносителей повлекло бы остановку многих крупных промышленных предприятий.

Приведенный пример нельзя рассматривать как глобальный энергетический кризис. Это всего лишь результат географического и политиче-

ского раздела сфер влияния производителей энергоносителей и их потребителей. Однако этот пример заставляет не только задуматься над проблемами экономного производства и потребления энергии, но и искать новые способы ее получения, которые приносили бы минимальный ущерб окружающей среде. Только при рациональном применении ископаемых энергоносителей (нефти, газа, угля) и разумном их сочетании с нетрадиционными источниками (источниками энергии приливов ветра, Солнца, геотермального тепла и других) можно надолго сохранить хрупкое равновесие в природе — среде нашего обитания.

Сложная проблема производства энергии и сохранения окружающей среды волнует всех людей и в первую очередь специалистов и ученых, предлагающих разнообразные способы ее решения. Один из весьма оригинальных способов предложили ученые США. В штате Нью-Йорк организована экспериментальная ферма для выращивания гибридной ивы, древесина которой может служить топливом для электростанций. Гибридная ива не похожа ни на одну из природных ее разновидностей. Это плотный куст с гибкими ветками, длина которых за год увеличивается почти на 3,5 м. Большая скорость роста — основная особенность гибрида. За год ивовый лес производит в 5—10 раз больше древесины, чем любой другой лес. Собирать урожай прутьев можно каждые три года на протяжении 20 лет. Для сжигания ветки рубят на куски длиной 5 см. Хотя такое топливо обходится не дешевле угля (с учетом того, что на ТЭЦ приходится заменять угольные топки новыми, специально сконструированными), зато дым от ивовых дров гораздо менее токсичен. Он содержит меньше оксидов серы и азота. Кроме того, если при сжигании нефти, угля и газа выбрасывается в атмосферу углекислый газ, который был давно похоронен в горных пластах и исключен из атмосферы, то сжигание дров высвобождает то количество углекислого газа, которое ивовые кусты поглотили из атмосферы за время их роста. Поэтому сжигание ивовых дров не повышает содержания углекислого газа в атмосфере и, следовательно, не вносит вклада в парниковый эффект. К этому следует добавить, что ивовый лес поставляет бесплатно кислород, необходимый для живых организмов. В Западной Европе такие леса уже занимают около 20 тыс. га. В США, например, имеется около 80 млн. га брошенных земель, где можно развернуть энергетическое лесоводство с посадкой гибридной ивы.

Предлагаются и другие оригинальные способы производства энергии, способствующие сохранению среды нашего обитания. Однако любой способ в той или иной мере сопряжен со вторжением в природу. Поэтому важно не только произвести с минимальным ущербом для природы энергию, но и рационально ее потреблять. Только в этом случае, производя и потребляя энергию, мы проявим не на словах, а на деле бережное отношение к окружающей среде.

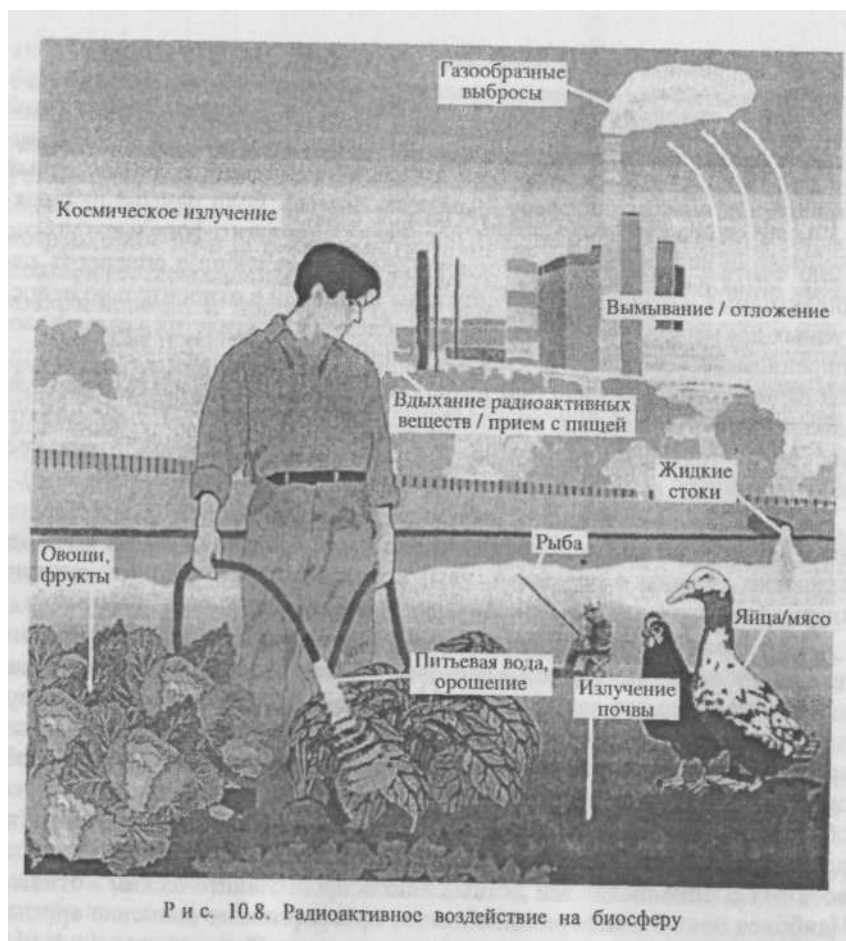
10.8. РАДИОАКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БИОСФЕРУ

Общие сведения. Во второй половине XX в. в результате активной деятельности человека, связанной с производством и испытанием ядерного оружия и бурным развитием атомной энергетики, появился новый вид воздействия на биосферу — радиоактивный. Если раньше радиоактивное воздействие находилось в пределах природного фона и его можно было считать естественным (основные представляющие опасность радиоактивные источники были спрятаны природой в относительно недоступных для живого мира местах), то в последние десятилетия в связи с расширением добычи и обогащением ядерного вещества в крупных масштабах радиоактивное воздействие на биосферу стало представлять серьезную экологическую опасность. К источникам радиоактивного воздействия относятся не только искусственные изотопы, но и космическое излучение, радиоактивные вещества, находящиеся в почве, воздухе (рис. 10.8).

Слова «радиоактивное излучение», «радиоактивность» и «облучение» вошли в жизнь послевоенных поколений XX в. и до наших дней неразрывно связаны с первым и, увы! кошмарным применением внутриядерной энергии — атомными бомбардировками Хиросимы и Нагасаки.

При взрывах атомных бомб более 100 тыс. японцев погибли практически мгновенно, пораженные световой и ударной волной. Десятки тысяч выживших в момент взрыва подверглись действию проникающего излучения и скончались в течение нескольких дней и недель от острой лучевой болезни, вызванной переоблучением и отягощенной травмами и обширными ожогами кожи. Но на этом не закончился список погибших от облучения. Точные сведения о числе жертв атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки не опубликованы до сих пор. В статьях американских военных специалистов эти данные занижены по политическим мотивам. Наиболее полную информацию имеют прогрессивные японские организации, проводившие специальные исследования. По их данным, к концу 1946 г. в результате взрывов атомных бомб погибло около 160 тыс. жителей Хиросимы и 70 тыс. жителей Нагасаки. В течение последующих 30 лет (1947—1976) от лучевой болезни скончалось еще около 90 тыс. человек. По прогнозам специалистов, в дальнейшем жертвами отдаленных последствий переоблучения окажутся еще 360 тыс. человек.

Вблизи хиросимского Музея мира на бывшем огромном пустыре, а ныне на краю большого парка прямо под точкой взрыва американской атомной бомбы установлен черный каменный саркофаг с книгой записей имен жертв атомной бомбардировки. Прошло более 50 лет, но ежедневно в ней появляются все новые имена скончавшихся из-за последствий облучения. Сначала умирали жители Хиросимы, находившиеся в ней в августе—сентябре 1945 г., потом их дети, а теперь дети их детей. По данным



специалистов в области радиационной биологии, в Хиросиме за пять лет после взрыва бомбы умерло втрое больше людей, чем при взрыве. Они погибли от ожогов, травм и облучения. Полностью разрушенную первой атомной бомбой Хиросиму начали возрождать через несколько лет после взрыва. Спустя 10 лет на том же месте был построен новый город.

Взрыв одного из четырех блоков Чернобыльской АЭС в ночь на 26 апреля 1986 г. не разрушил ни одного жилого дома и даже не остановил работу самой АЭС. Но через 10 лет после этой аварии опустошенные эвакуацией города и деревни прилегающих к Чернобылю районов Украины и Белоруссии по-прежнему остаются пустыми. Жить на этой территории превышающей 1000 км² и сильно загрязненной радионуклидами будет нельзя еще долгое время. Здесь будут работать лишь экологи и генетики

изучая влияние разных уровней радиации на растения и животных. По подсчетам экспертов, «цена» чернобыльской аварии за 10 лет составила около 200 млрд. долл. Но это лишь расходы и потери первого десятилетия. Прямой эффект чернобыльской аварии крайне тяжелый. Десятки людей погибли от острой лучевой болезни. Многие жители были переоблучены и их здоровью нанесен существенный ущерб.

В России, на Украине, в Восточной и Западной Европе, в США в послеаварийный период Чернобыльской АЭС не было начато строительство ни одной АЭС. Продолжали только достраивать реакторы, которые были уже близки к завершению. Естественно, что их проекты корректировались. Армения, лишенная всех источников органического топлива, решила реактивировать Армянскую АЭС, закрытую после землетрясения в 1988 г. Введение в декабре 1995 г. одного из блоков в эксплуатацию отмечалось как национальный праздник.

В нашем лексиконе появились термины «острая лучевая болезнь», «отдаленные последствия облучения», тревожно звучащее слово «радиация». Раньше они применялись преимущественно в узком кругу специалистов, занимающихся разработкой способов использования атомной энергии в первую очередь для мирных целей. Вряд ли найдется человек, который не слышал бы об успешном применении облучения в терапии опухолей, при стерилизации продуктов питания и медицинских препаратов, для предпосевной стимуляции семян и в других отраслях человеческой деятельности, вплоть до криминалистики и искусствоведения.

И все-таки у многих, если не у большинства, при слове «радиация» возникает тревожное состояние, иногда называемое атомным синдромом, означающим болезненное состояние психики. Авария на Чернобыльской АЭС — не только разрушение блока, но и взрыв (без преувеличения) всеобщего интереса к проблеме действия излучения на живые организмы, в первую очередь на человека, а также к процессу, называемому облучением. В печати, по радио, на телевидении замелькали ранее применявшиеся только в специальной литературе термины «дозиметрия» и «радиобиология», специальные единицы — рентген, рад, бэр, грэй и зиверт. Большой выброс радиоактивных веществ из аварийного блока и возникшая в связи с этим необходимость введения радиометрического контроля в районах, прилегающих к 30-километровой эвакуированной зоне Чернобыля, вовлекла в круг практической дозиметрии много лиц, ранее не соприкасавшихся с проблемами измерений радиоактивности. Незнание количественных критериев радиационной опасности, а также неумелое применение средств защиты привели к ряду ошибочных дейст-

вий. По этой же причине серьезными ошибками пестрят многочисленные послеаварийные сообщения.

Один из важных уроков аварии в Чернобыле состоит в том, что изучение основ дозиметрии ионизирующих излучений и радиационной биологии — неотъемлемый элемент современной цивилизации и культуры. Нам известны многие виды излучений, которые могут взаимодействовать с облучаемой средой, не обязательно вызывая ионизирующее действие. Одно из них всем хорошо знакомо — вспомним последствия длительного пребывания летом на ярком солнце. Ожог (иногда второй степени!) — следствие переоблучения кожи в результате воздействия инфракрасного излучения на клетки эпидермиса (верхнего слоя кожи), тогда как загар — воздействие более глубоко проникающего ультрафиолетового излучения на пигмент в составе подкожной клетчатки.

Отмеченное в последние годы ослабление слуха у подростков — следствие акустического переоблучения различного рода аудиотехникой на дискотеках и в концертных залах. Причина выявленной в годы Второй мировой войны анемии у операторов мощных радиолокаторов — воздействие чрезвычайно больших доз сверхвысокочастотного электромагнитного излучения. Одна из существующих в современной биофизике гипотез связывает акселерацию людей в послевоенные годы с переоблучением населения Земли вездесущими радиоволнами.

Остановимся на этих примерах и попытаемся уточнить опасные, безопасные и допустимые уровни воздействия радиации на живые организмы и степень опасности облучения человека.

Воздействие излучения на организм. Во всех случаях воздействия ионизирующих излучений на живую ткань в основе первичных изменений, возникающих в клетках организма, лежит передача энергии в результате процессов ионизации и возбуждения атомов ткани. Анализ несчастных случаев позволил установить численное значение смертельной дозы гамма-излучения. Она оказалась равной 600 ± 100 Р. Дозиметрические и радиобиологические исследования показали, что ни в одном из известных случаев вредные последствия облучения не проявились при дозах менее 100 Р кратковременного, т. е. «острого», облучения и менее 1000 Р облучения, растянутого на десятки лет.

Каковы же опасные и безопасные дозы облучения? При дозах облучения не более 25 бэр никаких изменений в органах и тканях организма человека не наблюдается. Незначительные кратковременные изменения состава крови возникают только при дозе облучения 50 бэр.

При дозах облучения, вызывающих глубокие поражения или даже гибель организма (например, единовременно 600 рад для человека), относительное количество образующихся ионов очень невелико. Такой дозе со-

ответствует примерно 10^{15} ионов/см³ ткани, что в пересчете на ионизацию молекул воды составляет всего лишь одну ионизированную молекулу воды на 10 млн. Таким образом, непосредственная прямая ионизация (без учета вторичных эффектов) не может объяснить повреждающего действия излучения. Тепловой эффект при воздействии радиации чрезвычайно мал: при облучении человека массой 70 кг дозе 600 рад соответствует выделение 60 калорий, что равносильно приему внутрь одной ложки теплой воды. Следовательно, биологическое действие ионизирующего излучения нельзя сводить к повышению температуры, как, например, при взаимодействии живой ткани с УКВ- и СВЧ-волнами.

Если при вдыхании, заглатывании, а также через повреждения кожного покрова источник излучения попадает внутрь организма, то возникает внутреннее облучение, во много раз более опасное, чем внешнее, при одних и тех же количествах радионуклидов.

Патологическое действие облучения на организм в значительной мере зависит от места локализации радиоактивного вещества. Например, главная опасность радия заключается в том, что он откладывается в костях и излучает альфа-частицы. Вызывая очень сильную ионизацию, альфа-частицы повреждают как кость, так и особенно чувствительные к излучению клетки кроветворных тканей, вызывая тяжелые заболевания крови и образование злокачественных опухолей. Пыль, содержащая радиоактивные частицы, приводит к образованию радиоактивных отложений в легких и способствует развитию рака. Средний период развития рака, по результатам обследований рудокопов, получивших дозу не менее 1000 бэр, в этом случае составляет около 17 лет.

Из всех путей поступления радионуклидов в организм наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха. Во-первых, потому, что через легкие человека, занятого работой средней тяжести, за рабочий день проходит большое количество воздуха (около 20 м³), во-вторых, радиоактивное вещество, поступающее таким путем в организм человека, более эффективно на него воздействует.

Защита от облучения. При одном и том же потоке излучения, активности или концентрации радионуклидов защита населения на местности должна быть на порядок более эффективной, чем персонала на производстве. Возможны три способа защиты от облучения — защита временем, защита расстоянием и защита экранированием.

Первый способ — *защита временем* — это ограничение продолжительности пребывания в поле излучения. Чем меньше время пребывания в поле излучения, тем меньше полученная доза облучения. В результате предварительной радиационной разведки дозиметристы уточняют карто-

грамму гамма-поля на зараженной местности и определяют допустимое время пребывания в данной точке.

Второй способ защиты от радиоактивного и прежде всего гамма-излучения столь же прост и нагляден — *защита расстоянием*. Общеизвестно, что излучение точечного, или локализованного, источника распространяется во все стороны равномерно, т. е. является изотропным. Отсюда следует, что интенсивность излучения уменьшается с увеличением расстояния от источника по закону обратных квадратов. Следовательно, при увеличении расстояния до источника в 2 раза интенсивность уменьшается в 4 раза и т.д.

Третий способ — *защита экранированием или поглощением* — основан на использовании процессов взаимодействия фотонов с веществом. Защитные свойства вещества определяются коэффициентом ослабления излучения для узкого пучка гамма-излучения. Обычно указывают основной параметр защищающего вещества — его слой половинного или десятикратного ослабления. Для ориентировки полезно помнить, что *слой половинного ослабления фотонов с энергией 1 МэВ составляет 1,3 см свинца или 13 см бетона*. Защитная способность других веществ в значительной степени определяется их плотностью.

Жизненно необходимая радиация. Стремление разделять все воздействия на организм на вредные и полезные — всего лишь некая условность. Ведь всем известно, как вредна, например, передозировка лекарств или даже витаминов и как необходимы бывают организму микродозы яда, например змеиного. Столкнувшись с радиоактивным излучением в больших дозах, человек убедился в его губительном действии на все живое. Хотя не до конца изучены его последствия, но уже распространилось мнение: радиоактивное излучение вредно всегда.

В середине XX в. обнаружен природный радиационный фон, в котором в течение длительного времени развивалась жизнь на нашей планете. Специалисты предложили принять его уровень за нижний предел опасной радиации. Эксперименты показали, что большие и малые дозы радиоактивного излучения действуют на организм принципиально по-разному. Первые поражают множество клеток и сильно ослабляют организм, тогда как вторые губят только отдельные клетки, а остальным дают стимул для их последующего развития.

В молекулах клеток (в ДНК, РНК, белках) при воздействии радиоактивного излучения происходят одновременно два процесса — ионизация и возбуждение. Именно ионизация вызывает сильное поражение живых организмов. Процессом возбуждения до недавних пор пренебрегали, считая его побочным, вторичным, тогда как на самом деле он важен. Вызван-

ное малыми дозами радиоактивного излучения (на уровне природного фона) возбуждение атомов способствует развитию клеток и всего организма в целом. Оно способствует продлению срока жизни организма, усиливает его иммунитет, повышает всхожесть семян, увеличивает рост растений и т.д.

Положительный эффект малых доз радиации подтвержден многими экспериментами на растениях и животных — от насекомых до млекопитающих. И ничего в этом удивительного нет, поскольку жизнь на Земле возникла, развивалась и существует ныне в условиях естественного радиационного фона. Чрезмерное его повышение наносит немалый вред всему живому, и стремление снизить фон до нуля кажется вполне естественным. Однако проведенные в последнее время опыты с растениями и животными показали, что изоляция организма от радиационного фона вызывает в нем замедление фундаментальных жизненных процессов.

Земная колыбель человечества всегда была радиоактивной, и биологические объекты, развиваясь в поле ионизирующих излучений, не могли к этому не приспособиться. Весьма показательны опыты радиобиологов по выращиванию растений внутри камер, изготовленных из материалов, не содержащих естественных радионуклидов. В таких камерах побеги появляются позже, развитие растений замедляется, а урожай существенно ниже, чем в условиях естественного радиационного фона. Все это означает, что естественный радиационный фон является жизненно важным и необходимым для развития живых организмов.

10.9. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Нарушение естественного состояния окружающей среды, ведущее к деградации всего живого и представляющее угрозу здоровью человека — явление не новое: оно прослеживается с древнейших времен и стало заметно проявляться на самой начальной стадии урбанизации — с появлением небольших городов. Население земного шара постоянно растет, продолжается стремительный рост городов, появляются города-гиганты — мегаполисы. Потребление различных материальных ресурсов, товаров и энергии на душу населения непрерывно увеличивается. Рост населения, урбанизация, массовое производство промышленной и сельскохозяйственной продукции неизбежно ведут к активному вторжению человека в окружающую среду. Поэтому защита окружающей среды в настоящее время является чрезвычайно важной задачей. Уже сейчас не-

которые граждане разных стран вне зависимости от их профессиональной деятельности и политических воззрений заявляют о готовности покупать дорогие, но экологически чистые продукты, платить высокие дополнительные налоги ради оздоровления среды обитания.

Вне всяких сомнений, защита окружающей среды должна быть основана на естественно-научных, профессиональных знаниях, позволяющих определить:

- потенциально опасные вещества, содержащиеся в воздухе, воде, почве и пище;
- причину их появления;
- способы полной или частичной защиты окружающей среды;
- степень опасности при длительном воздействии вредных веществ на живые организмы.

Успешное решение этой сложной задачи возможно только с применением чувствительных приборов и современных методов определения концентрации опасных веществ. Для выявления источников загрязнения и их анализа необходима совместная работа химиков-аналитиков, метеорологов, океанографов, вулканологов, климатологов, биологов и гидрологов. Задача их заключается не только в выявлении вредных веществ, но и в разработке способов предотвращения их появления и утилизации.

Вопрос о допустимой длительности воздействия вредных веществ на живой организм решают медики и другие специалисты. Они собирают информацию и готовят данные о степени риска, обусловленного наличием токсичных веществ, например свинца в воздухе, хлороформа в питьевой воде, радиоактивного стронция в молоке, бензола в атмосфере производственных помещений и формальдегида в жилых домах и т. п. При этом важна объективная оценка риска и издержек, связанных с наличием опасных веществ. Любое решение, в том числе и политическое, тех или иных вопросов сохранения окружающей среды должно основываться на квалифицированной, объективной и всесторонней естественно-научной экспертизе.

Иногда некоторые средства массовой информации, общественные организации и представители власти ставят, к сожалению, знак равенства между обнаруженным вредным веществом и реальной его опасностью. Такое отождествление вытекает из простого заблуждения: вещество, обладающее выраженной токсичностью при определенной концентрации, токсично всегда. Можно привести много примеров, показывающих, что это далеко не так. В частности, монооксид углерода СО действительно опасен для здоровья человека, но только при концентрациях, больших 1000 млн. долей. Принято считать, что продолжительное воздействие мо-

нооксида углерода в концентрациях, превышающих только 10 млн. долей, отрицательно сказывается на здоровье человека. Мы живем в окружающей среде, всегда содержащей легко обнаруживаемую концентрацию монооксида углерода — порядка 1 млн. долей. А это означает, что нет необходимости в полном устранении монооксида углерода из атмосферы! При этом важно знать научно установленную максимальную концентрацию вредных веществ, которая безопасна без применения специальных мер защиты, т. е. нужно определить их *предельно допустимую концентрацию*. Лишена всякого здравого смысла защита окружающей среды, ориентированная на нулевой риск, означающий достижение абсолютной безопасности при полном уничтожении опасных веществ. В приведенном примере с монооксидом углерода достижение нулевого риска означает полное, до последней молекулы, удаление этого газа из атмосферы. Решение такой задачи потребовало бы громадных капиталовложений без ощутимой пользы и привело бы к нежелательным последствиям в биосфере. Вполне оправдано, целесообразно и полезно вкладывать финансовые ресурсы в организацию всесторонних долговременных естественно-научных исследований окружающей среды и разработку эффективных методов измерений, производимых приборами, которые обладают чрезвычайно высокой чувствительностью, необходимой для определения небольшой концентрации в сложной смеси, содержащей много безвредных, а среди них и вредных веществ.

Легко реагирующие соединения, находящиеся в атмосфере, трудно доставить в сохранившемся составе для анализа в лабораторию. Поэтому возникает необходимость в дистанционном обнаружении и определении химического состава и структуры таких соединений в местах их образования. Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что современный метод инфракрасной спектроскопии позволяет анализировать состав воздуха над городом на расстоянии около одного километра. Этим методом удастся установить содержание формальдегида, муравьиной и азотной кислот, пероксиацетилнитрата и озона при одновременном их наличии в воздухе в концентрациях, составляющих миллиардные доли. Такая концентрация любых названных веществ слишком мала, чтобы оказать ощутимое вредное воздействие на здорового человека. В то же время она достаточна для заметного влияния на химические процессы в атмосфере. Современные сканирующие лазерные устройства успешно применяются для определения в дыме электростанций, работающих на угле, концентрации диоксида серы (сернистого газа), составляющей миллионные доли. Полупроводниковые лазеры весьма удобны для анализа выхлопных газов автомобилей.

Испытания на животных показали, что только один из 22 структурных изомеров тетрахлордиоксида в тысячу раз токсичнее всех остальных. Этот пример подчеркивает важность аналитических методов, позволяющих не только установить концентрацию загрязнителя, но и идентифицировать его химический состав и структуру. Из вышесказанного следует, что все действия, направленные на сохранение окружающей среды, должны основываться на естественно-научных знаниях.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются гипотезы Кюве и Жоффруа?
2. Как могли повлиять глобальные катастрофы на эволюцию жизни на Земле?
3. Какие факторы определяют развитие экологической катастрофы?
4. Какова роль научного управления при переходе к ноосфере?
5. Назовите основные признаки изменения климатических условий.
6. Как изменяется уровень Мирового океана?
7. Какие изменения произойдут в биосфере при глобальном потеплении?
8. В чем проявляется парниковый эффект?
9. Какова роль лесных массивов в предотвращении глобального потепления?
10. Как возникают кислотные осадки?
11. Как можно предотвратить кислотные осадки?
12. Назовите основные механизмы разрушения озонового слоя.
13. Каков химический состав озона?
14. Можно ли предотвратить разрушение озонового слоя?
15. Охарактеризуйте на примере бассейна Волги экологическое состояние водных ресурсов.
16. Как происходит миграция загрязняющих веществ в окружающей среде?
17. Какие меры способствуют сохранению водных ресурсов?
18. В чем заключается влияние производства энергии на окружающую среду?
19. Существует ли связь между потреблением энергии и сохранением окружающей среды?
20. Охарактеризуйте последствия атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки.
21. Каковы последствия аварии на Чернобыльской АЭС?
22. В чем проявляется действие радиоактивного излучения на живые организмы?
23. Каковы опасные и безопасные дозы облучения?
24. Что такое внутреннее облучение?
25. На чем основана защита от облучения?
26. Оказывает ли радиация полезное действие на живые организмы?
27. Какие естественно-научные проблемы необходимо решать при защите окружающей среды?
28. Чем определяется реальная опасность вредных веществ?
29. Что такое нулевой риск?
30. В чем заключаются профессиональные меры защиты окружающей среды?

В науке надо повторять уроки, чтобы хорошо помнить их; в морали надо хорошо помнить уроки, чтобы не повторять их.

В. Ключевский

11. ГАРМОНИЯ ПРИРОДЫ И ЧЕЛОВЕКА

11.1. ЧЕЛОВЕК И ПРИРОДА

Вооруженный всесторонними знаниями о природе человек способен не только создавать современную уникальную технику с минимальными затратами материальных и энергетических ресурсов, но и органично вписаться в природу, жить в согласии с ней, не нарушая сложившейся в течение многих тысячелетий гармонии природы и человека. Естественное сочетание с природой вовсе не означает, что нужно отказаться от современных цивилизованных условий и жить подобно нашим древним предкам. Есть немало примеров поистине райских уголков, где человек живет в гармонии с природой и пользуется всеми благами, которые дала ему цивилизация. Это, прежде всего, многие небольшие города Западной Европы, где все созданное человеком гармонично вписывается в природу. К ним можно отнести Монтрезор — один из самых маленьких городков в долине Луары, которую принято считать свадебным платьем Франции. Много веков назад здесь возведен прекрасный замок — блестящий пример органичного единения и гармонии человека и природы. Можно назвать и райские уголки Арабских Эмиратов и Египта, где цивилизованные условия созданы совсем недавно на пустынной земле, которую давным-давно покинул удивительно многообразный живой мир.

Совершенно очевидно, что без фундаментальных знаний о природе, без духовного и нравственного воспитания невозможно жить в гармонии с природой и наслаждаться жизнью в созданных человеком райских уголках. Многие понимают, что для настоящего отдыха надо выбирать места, где сохранилась живая природа: цветущие лужайки, песчаные берега рек с кристально чистой водой, покрытые мягким искристым снегом поляны, т.е. места, где можно испытать истинное наслаждение природой и ощутить настоящую радость жизни. К счастью, подобные места еще сохранились. Однако немногие понимают, что оставив после себя следы «цивилизованного» отдыха, человек отторгает природу: на месте разведенного костра и выброшенной использованной посуды долгое время не будет расти трава, да и сам костер, вероятно, принесший некое сиюминутное удовольствие, может привести к пожару, истребляющему лес, и стать ис-

точником тех самых газов, которые усиливают парниковый эффект. Сознательно или скорее бессознательно нанесена губительная рана природе, потерян живописный уголок природы, который мог бы заманить своей красотой для отдыха других людей. Подобное, по-видимому, не случилось бы, если бы человек усвоил известную с древних времен простую библейскую истину: «Возлюби ближнего своего, как самого себя». В этом случае он задумался бы над тем, как отдыхать, чтобы на этом же месте смогли отдохнуть и другие люди.

Этот пример наглядно показывает, как важно сочетание естественно-научных знаний и духовного, нравственного воспитания, которое должно начинаться с самого раннего детства. Именно знания о природе позволяют судить о последствиях тех или иных действий, нарушающих гармонию природы, а духовное и нравственное воспитание освобождает человека от подобных действий. Только в этом случае родители, желая привить высокие нравственные качества своему любимому ребенку, не будут равнодушно смотреть, как он бросает на газон наполовину съеденное яблоко или как упражняется в своем творчестве, разрисовывая и расписывая фасады домов. Духовная и нравственная база, заложенная в детстве, и всесторонние знания о природе, приобретенные в более зрелом возрасте, — вот те два фундаментальных камня, на которых держится свобода человека, свобода в широком смысле этого слова — свобода от самого простого — выбрасывания окурка из автомобиля и сваливания мусора в лесу до глобального необдуманного вторжения в живую природу. Только на таком прочном, надежном фундаменте можно возводить чудесные дворцы гармонии природы и человека.

11.2. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Естественно-научные знания сами по себе не могут ускорить развитие общества. Это могут сделать вооруженные такими знаниями люди — производители и потребители, руководители и инженеры, политики и журналисты. Однако люди во многом инертны: они не меняют своих взглядов и привычек, если для этого нет достаточно убедительных оснований. Но такие основания есть, и о них шла речь в докладе Римскому клубу (1995), в котором известный американский специалист по охране окружающей среды Э. Ловинс и его коллеги аргументированно показали, что в современном обществе есть реальная возможность жить в два раза лучше и в то же время тратить в два раза меньше. В основе их концепции лежат сохранение природных ресурсов, эффективное потребление энергии и материалов, преобразование транспортных услуг, внедрение новых технологий.

С начала развития промышленности производительность труда возросла во много раз. Однако при этом сверх меры потреблялись и потреб-

ляются энергия, сырье, вода и др. Рост производительности сопровождается подавлением и даже гибелью живых систем, не только обеспечивающих нас важнейшими жизненными ресурсами, но и поглощающими отходы цивилизации. Повышение эффективности потребления природных ресурсов и их производительности открывают большие экономические возможности.

Значительная часть энергии, воды, транспортных услуг и т.п. теряется, не доходя до потребителя. Тепло, рассеиваемое при плохой теплоизоляции; энергия атомной или тепловой электростанции, только 3% которой преобразуется в свет в лампах накаливания (70% энергии потребляемого топлива теряется до того, как она дойдет до лампы, которая, в свою очередь, превращает в свет около 10% электроэнергии); 80—85% автомобильного горючего теряется в двигателе и системе привода до того, как оно приведет в движение колеса; вода, которая испаряется или вытекает, не принося пользы; бессмысленное перемещение грузов и товаров — все это характерные примеры бесполезных затрат.

И все же болезнь расточительства излечима. Исцеление приходит из лабораторий, от автоматизированных поточных линий, созданных высококвалифицированными инженерами и технологами, в результате проектирования и строительства жилых домов, сочетающих комфорт и уют с минимальным потреблением энергии, благодаря изобретательности ученых и интеллекту каждого человека. Оно основано на достижениях современного естествознания, развитой экономике и здравом смысле. Эффективно использовать природные ресурсы — это значит достигать большего при меньших затратах.

Рациональное потребление ресурсов способствует улучшению условий жизни. Мы лучше видим с применением эффективных систем освещения, дольше сохраняем продукты питания в эффективно работающих холодильниках, производим товары высокого качества на эффективных заводах, путешествуем безопасно и с большим комфортом на эффективном транспорте, чувствуем себя лучше в современных зданиях и более полноценно питаемся эффективно выращенными сельскохозяйственными продуктами.

Благодаря эффективному потреблению природных ресурсов уменьшается количество отходов и, следовательно, сохраняется окружающая среда, что способствует повышению прибыли при уменьшении отходов, загрязняющих окружающую среду, потребуется меньше средств для их утилизации или ликвидации. Поскольку такое потребление ресурсов способно приносить прибыль, задачу повышения эффективности их потребления можно решать с помощью рыночного механизма с привлечением предпринимателей.

Борьба за природные ресурсы всегда приводит к международным конфликтам. Эффективное потребление ресурсов ослабляет нездоровую зависимость от них, порождающую политическую нестабильность, обусловленную желанием владеть природными ресурсами: нефтью, металлом, лесом и др.

Пустая, бесполезная трата природных ресурсов приводит к деформации экономики, в результате которой общество делится на тех, у кого есть работа, и тех, у кого ее нет. Промышленные предприятия должны избавляться от непродуктивных киловатт-часов, тонн и литров, а не от своих работников. Такой способ намного рациональнее, чем увеличение налогов на потребление природных ресурсов.

11.3. ОБНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Для производства тепловой и электрической энергии потребляется громадное количество природных ископаемых ресурсов: нефти, природного газа и угля. К настоящему времени многие энергосистемы, производящие тепло и электроэнергию, устарели. Тепловой КПД (КПД с учетом используемой тепловой энергии) большинства из них не превышает 35% при работе на газе, а при использовании угля он еще меньше. В то же время в уже эксплуатируемых энергосистемах — парогазовых установках — тепловой КПД достигает не менее 60% и в системах с эффективным сжиганием угля он равен 40—50%. Следовательно, переход к таким системам приведет к чрезвычайно большой экономии природных энергоресурсов.

Принцип работы многих видов энергосистем основан на преобразовании тепла, выделяющегося при сжигании топлива. В настоящее время в качестве топлива используют природный газ и нефтепродукты. Чтобы сберечь эти ценнейшие природные ресурсы для более рационального применения — производства разнообразной ценной химической продукции в течение более длительного времени, — нужно переходить на альтернативные источники топлива. Один из таких источников — каменный уголь, долгое время верой и правдой служивший топливом для паровых машин. Низкий КПД таких машин привел к их замене, а вместе с ними и топлива. Тем не менее в энергетике ряда стран Центральной и Восточной Европы до сих пор уголь играет важную роль: с его применением производится около 65% электроэнергии. Устаревшие тепловые электростанции, потребляющие уголь, вне зависимости от того, где они эксплуатируются, нуждаются не только в переоснащении и модернизации, но и в новой технологии сжигания угля. Разработке таких технологий уделяется большое внимание. Одна из перспективных технологий основана на сжигании угля в циркулирующем кипящем слое. В результате многократной

циркуляции происходит более эффективное сжигание частиц топлива при температуре 800—900 °С и резко снижается образование вредных оксидов азота.

Сбережению нефти, природного газа и угля способствует применение самого энергоемкого ядерного топлива: энергия единицы его массы в миллионы раз больше, чем, например, угля. Внедрение перспективной технологии преобразования ядерного топлива в реакторе-размножителе на быстрых нейтронах, не только вырабатывающем энергию, но и производящем вторичное топливо, открывает возможности дальнейшего развития атомной энергетики.

По мере обновления любой энергосистемы одновременно решаются три важные задачи: экономия топлива, производство дешевой энергии и сохранение окружающей среды. Наряду с обновлением энергосистем не менее важна разработка перспективных технологий преобразования энергии Солнца, ветра, геотермальных источников и Мирового океана.

11.4. ЭФФЕКТИВНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Сохранение тепла и сбережение энергии. Всем понятно: сохранение тепла в жилых домах, различных помещениях и сбережение энергии в быту, на производстве и транспорте — есть прямой путь сохранения природных ресурсов. Современный уровень развития естествознания и наукоемких технологий позволяет строить дома с относительно небольшим потреблением энергоресурсов вне зависимости от климата и выращивать тропические растения в суровых климатических условиях. Многим кажется, что все это относится к потенциальным возможностям и благим намерениям. Однако такое мнение ошибочно: уже возводятся тропические сады и строятся почти сказочные жилые дома. Попытаемся убедиться в этом.

В Скалистых горах Западного Колорадо США в штаб-квартире Института Рокки Маунтин, на высоте 2200 м над уровнем моря расположена банановая ферма с пассивным солнечным освещением. Здесь растут бананы, хотя эта зона и климат совсем не подходят для их выращивания, ведь иногда температура опускается до — 44 °С. Сезон роста растений между сильными морозами составляет 52 дня, а заморозки могут случиться даже в июльский день. Солнечная погода неустойчива — в середине зимы насчитывается до 39 облачных дней, а иногда за декабрь и январь бывает не более семи солнечных дней. Тем не менее в январе, в метель и непогоду созревают бананы, апельсины, а с приближением весны, когда дни становятся длиннее, джунгли покрываются растительностью — появляются авокадо, манго, виноград и т.п. И все же здесь нет традиционной малоэффективной системы отопления. Две небольшие

печки, рассчитанные на сжигание дров, используются время от времени для обогрева или просто для приятного отдыха. Они дают около 1 % тепла, требуемого для обогрева обычного дома в этом районе, а остальное является пассивным солнечным теплом. Даже в пасмурные дни солнечное тепло улавливается специальными окнами, обеспечивающими теплоизоляцию, равноценную 12 листам стекла: прозрачные бесцветные окна пропускают внутрь $3/4$ видимого света и половину всей солнечной энергии, но

практически не позволяют теплу бесполезно рассеиваться. Пенопластовая изоляция внутри каменных стен и крыши по крайней мере вдвое уменьшает тепловые потери. Свежего воздуха достаточно — он предварительно подогревается теплообменниками, возвращающими $3/4$ тепла,

которое обычно уносится при проветривании помещения.

Сколько же стоила вся эта теплоизоляция? Дополнительные затраты были перекрыты экономией при строительстве дома без традиционной системы отопления и воздуховодов. Сэкономленные деньги и еще 16 долл./м² истрачены для сбережения 50% расходуемой воды, 99% энергии нагревания воды и 90% — для бытовой техники. При тарифе в 0,07 долл./кВт · ч счет за всю потребляемую бытовую электроэнергию составляет примерно 5 долл./мес.

Дневной свет, поступая со всех сторон, обеспечивает 95% необходимого освещения; сверхэкономичные лампы экономят $3/4$ энергии, требуемой для дополнительного освещения. Яркость ламп регулируется в зависимости от интенсивности дневного света, а когда в комнате никого нет, они автоматически выключаются. Холодильник потребляет только 8%, а морозильная камера — 15% электроэнергии, необходимой для обычного холодильника. Такой экономичный холодильник снабжен эффективной изоляцией, и его система охлаждается в течение полугода наружным воздухом. Стиральная машина новой конструкции экономит около $2/3$ воды и

$3/4$ порошка, стирает качественнее и продлевает срок службы белья и одежды. Газовая кухонная плита экономят энергию благодаря применению швейцарской керамической посуды с двойной стенкой и британского чайника, теплоизоляция которых позволяет сэкономить треть потребляемого газа и уменьшить время приготовления пищи и кипячения воды. Вне помещения изолированная пассивно-солнечная фотоэлектрическая ферма помогает пороссятам набирать вес, а курам нести яйца, поскольку им не

приходится затрачивать слишком много энергии на поддержание температуры собственного тела.

Затраты на электроснабжение окупаются за первые 10 месяцев. В дальнейшем энергосбережения пойдут на оплату всего здания в течение 40 лет. Такое здание должно прослужить по крайней мере в 10 раз дольше обычного. По его ориентации на юг и по необычной форме изогнутых каменных стен археологи будущих поколений, вероятно, придут к выводу о том, что они обнаружили храм первобытного поклонения Солнцу.

Возведенное в Скалистых горах здание, объединяющее под одной крышей научно-исследовательский центр с 20 рабочими местами и ферму, посетили десятки тысяч гостей. Большинство из них отмечают: самая важная особенность здания в том, что оно помогает его обитателям лучше себя чувствовать и лучше работать. Действительно, естественное освещение, здоровый воздух, приятный шум водопада, настроенный на альфа-ритм человека и оказывающий успокаивающее действие, отсутствие механических шумов, зеленая растительность джунглей — все это создает в обычных условиях поистине райскую атмосферу для жизни. Конечно, некоторые детали этого дома можно было бы совершенствовать, но основные принципы его планировки и строительства продолжают волновать воображение.

В 1983 г. Швеция ввела стандарт на тепловую изоляцию: максимально допустимые тепловые потери для домов не должны превышать $60 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. В Германии, например, дома обычно в среднем теряют $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. И все же шведский стандарт можно значительно улучшить. Это доказывает один из наиболее ярких примеров — пассивный дом, построенный в Дармштадте, в 50 км южнее Франкфурта. Потребность в дополнительном тепле для этого дома не превышает $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. Для него требуется на 90% меньше электроэнергии, чем обычным немецким домам той же площади, но при этом обеспечивается более высокий уровень комфорта.

Можно привести примеры экономичных домов не только для холодного, сурового, но и для жаркого, тропического климата. А это означает, что ни холод, ни жара, ни влажность не являются препятствием для значительного энергосбережения при отличном комфорте и рентабельности.

Экономия электроэнергии. В большинстве промышленно развитых стран 30—50% электроэнергии потребляется бытовыми электроприборами для нагревания воды, освещения, вентиляции и т.п. Тщательный анализ показывает, что можно поддерживать современный уровень бытовых услуг (охлаждение, чистку, стирку, уборку и т.д.), используя лишь 20% электроэнергии, потребляемой в настоящее время. Например, благодаря усовершенствованию компрессора, системы охладителя, регулятора температуры и улучшению изоляции годовое потребление энергии датским

200-литровым холодильником уменьшилось с 350 до 90 кВт · ч. Применение вакуумной изоляции в голландском холодильнике сокращает энергопотребление до 30 кВт · ч в год.

Лучшее датское кухонное оборудование в 1988 г. потребляло около 400 кВт · ч в год. Новейшие передовые технологии позволили уменьшить эту цифру до 280, и это не предел. Такой эффект достигается благодаря простым усовершенствованиям — улучшению термоконтакта между нагревательным элементом и кастрюлей, термоизоляции духовки и т.п. Примерно половина энергии на освещение в США и существенно большая часть в развивающихся и бывших социалистических странах потребляется лампами накаливания, конструкция и устройство которых практически не изменились за более чем полувековой период. Такие лампы по существу являются электронагревателями — менее 10% потребляемой энергии в них излучается в виде света. В настоящее время почти все лампы накаливания можно заменить люминесцентными. Одна 18-ваттная компактная люминесцентная лампа, заменяющая 75-ваттную лампу накаливания, способна на протяжении своего срока службы сэкономить около 200 л нефти, потребляемой электростанцией на жидком топливе, или предотвратить выброс в атмосферу 1 т двуокиси углерода, 4 кг окислов серы и 1 кг окислов азота, не считая других выбросов от работающих на угле станций.

Люминесцентные лампы — это не единственное средство экономии электроэнергии на освещении. Крупные лампы накаливания лучше заменять металлогалогенными или натриевыми лампами высокого давления. В последнее время большое внимание уделяется осветительным приборам на основе светодиодов, существенно сокращающих потребляемую энергию. В 1997 г. изготовлен светодиод, излучающий белый свет. Белый светодиод площадью менее 1 см² излучает такой же свет, как и 80-ваттная лампочка, при этом потребляемая мощность составляет лишь 3 Вт. Ресурс средней лампочки накаливания — 1000—1500, а световода — 50 тыс. ч. По мере совершенствования технологии изготовления себестоимость световодов уменьшится, и они сэкономят немало энергии. Внедрение уже выпускаемого промышленностью инфракрасного датчика, с помощью которого включается свет при входе человека в помещение и выключается при его выходе, позволит навсегда забыть известное многим написание «уходя, гасите свет».

С развитием информатизации общества персональный компьютер становится предметом массового пользования. Потребляемая мощность широко распространенного компьютера составляет около 150 Вт. Примерно половина ее приходится на цветной монитор. Более эффективные мониторы с теми же характеристиками потребляют в несколько раз меньше энергии. Дисководы жесткого диска, произведенные в прошлом десяти-

тилетии, расходуют в 5—10 раз больше энергии, чем современные. Некоторые модификации портативных компьютеров потребляют всего несколько ватт, но по своим возможностям не уступают настольным персональным компьютерам.

С помощью компьютера создаются электронные книги и каталоги больших объемов, что приводит к экономии бумаги, на производство которой требуется огромная масса древесины и громадное количество энергии. Кроме того, компьютер открывает большие возможности электронной почты, позволяющей по сравнению с обычной почтой косвенно экономить энергию. В последние десятилетия интенсивно развивается еще один вид компьютерных услуг — Интернет, открывающий новые горизонты применения информационных технологий. При этом сокращается не только время поиска и передачи информации, но и материальные, и энергетические ресурсы для их реализации.

Энергоснабжение на промышленных предприятиях. Промышленные предприятия, выпуская ту или иную продукцию, потребляют большое количество природных ресурсов и энергии. Поэтому к современным предприятиям предъявляются требования не только производить высококачественную продукцию, но и экономно расходовать природные ресурсы, сберегать энергию и тем самым сохранять окружающую среду. Техническое оборудование любого промышленного предприятия со временем устаревает. Новые технологии требуют кардинального обновления устаревшего оборудования, т.е. модернизации технической базы промышленности в целом. Современная промышленность включает множество отраслей, связанных с производством разнообразных материалов, автомобильной и авиационной техники, технических средств связи, станков, инструментов и многого другого. Промышленных отраслей много, и каждая из них имеет свою специфику. Однако способы модернизации промышленных предприятий разных отраслей принципиально не различаются и направлены в основном на экономию сырья и энергии при повышении качества выпускаемой продукции.

Промышленные предприятия — один из основных потребителей энергии. Даже небольшая доля сэкономленной на них энергии приводит к значительной экономии. Способы экономии энергии в технологическом процессе производства той или иной продукции чаще всего известны, но не всегда внедряются.

Что же нужно сделать, чтобы они внедрялись и приносили доход? Возможны различные пути решения данной задачи. Например, совсем не сложный путь выбрала одна из химических компаний США. В ней в течение 12 лет — с 1981 по 1993 г. — ежегодно для сотрудников, занимающих место не выше контролера, объявлялся конкурс на проект по элек-

тросбережению. Важное условие конкурса: энергосбережение или сокращение потерь должно окупаться в течение одного года при первичных затратах, не превышающих 200 тыс. долл. Представленные проекты тщательно проверялись. И вот результат — за 12 лет доход от 575 проектов в среднем составил 204% в год при общей экономии 110 млн. долл. в год.

Во многих случаях энергосбережение и сокращение потерь основаны на внедрении передовых технологий, рожденных в недрах важнейших достижений современного естествознания. Открываются новые свойства вещества, синтезируются необычные химические соединения, а из них производятся уникальные материалы — все это составляет основополагающую базу для прогрессивного развития любого производства и в конечном результате способствует гармоничному сочетанию деятельности человека и природы.

11.5. ЭКОНОМИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Один из важнейших путей энергосбережения ресурсов связан с эффективным использованием материалов в процессе производства продукции. Конечно, разные производства отличаются своей спецификой потребления материалов. Поэтому легче проследить за производством и потреблением материалов, скажем, на предприятиях автомобильной промышленности, которая, например, в США составляет — по числу занятых и по уровню расходов и — валового национального дохода. Автомобильная промышленность потребляет примерно 70% свинца, 60% резины, ковровых покрытий и ковкого чугуна, 40% инструментальных материалов и платины, 34% железа, около 25% алюминия, цинка, стекла и полупроводниковых материалов, 14% стали и 10% меди. За последние десятилетия потребление этих материалов изменялось незначительно: например, с 1984 по 1994 г. средний американский автомобиль стал на 1% тяжелее, в нем до 3% пластмасс и цветных металлов.

Современный автомобиль, весящий не менее тонны, перевозит не только пассажиров и полезный груз, но и самого себя, на что расходуется много топлива. Кроме того, производство автомобиля сопровождается громадным потоком сырья, материалов, готовых изделий. Расчеты показывают, что для изготовления только одного автомобиля необходимо перевезти более 1520 т груза, включающего добываемое сырье, материалы, детали и т.п. С появлением сверхлегких автомобилей такой поток существенно уменьшится. Предполагается, что благодаря переходу к полимерным и композиционным материалам можно уменьшить массу автомобиля примерно в 3 раза.

Сверхлегкий автомобиль по сравнению с американским автомобилем 1994 г. будет содержать: вдвое больше композиционных и полимерных материалов, на $1/8$ меньше меди, на $9/10$ меньше железосодержащих металлов, на $1/3$ меньше алюминия, на $2/3$ меньше резины, на $4/5$ меньше платины и нетопливных жидкостей. Такой автомобиль будет весить 400—500 кг. Его создание потребует существенной модернизации практически всех систем, включая двигатель, систему трансмиссии и др.

Можно привести и другие примеры эффективного использования материалов. Так, при замене бетонных опор линии электропередачи стальными достигается шестикратное увеличение эффективности использования материалов. На бетонные опоры требуется в 3 раза больше материалов, чем на стальные, которые служат в два с лишним раза дольше, и их можно производить из чугуна и стального лома, что приводит к дальнейшей экономии.

Важнейший природный ресурс — пресная вода. Приведем некоторые примеры рационального ее потребления. Примерно в 1,6 раза повышается эффективность использования воды при подпочвенном капельном орошении, при котором с помощью линий орошения, расположенных на глубине 20—25 см, подается небольшое количество воды в зоне корневой системы растений. При этом поверхность почвы остается сухой, что уменьшает поверхностное испарение и уменьшается объем стока и просачивания воды в глубину.

Чрезвычайно большое количество воды расходуется при производстве бумаги и картона. Так, в 1900 г. производители бумаги в Европе потребляли примерно 1 т воды на 1 кг продукции. К 1990 г. потребление воды уменьшилось более чем в 15 раз и составило 64 л, из которых 34 л шло на производство целлюлозы и 30 л — на изготовление бумаги и картона из целлюлозы. Благодаря дальнейшему совершенствованию технологического цикла и в результате роста платежей за сточную воду, например, в Германии расход воды сокращен до 20—30 л, а на одной из современных бумажных фабрик удалось совсем исключить сточные воды из производства упаковочной бумаги. Требуется лишь небольшое количество воды для компенсации испарений и улучшения механохимических свойств бумаги. В результате расходуется не более 1,5 л пресной воды на 1 кг упаковочной бумаги.

Можно существенно повысить эффективность бытового потребления воды. В настоящее время, например, в США на одного человека в сутки расходуется около 300 л воды только внутри жилого дома. Внедрение нового сантехнического оборудования, в частности шведского туалета с расходом 3 л на слив, более эффективных посудомоечных и стиральных

машин, а также использование в ряде случаев дождевой воды и другие меры могут в несколько раз сократить бытовое потребление воды.

Руководители многих современных промышленных предприятий понимают, что уменьшение потоков материалов в производстве, устранение их потерь и превращение отходов в ценные продукты — это выгодный путь увеличения прибыли, ведущий к рациональному использованию материалов и одновременно к сохранению окружающей среды.

Анализ специалистов показывает, что такой традиционный материал как древесина, более надежен и долговечен, чем бетон. Древесина — это удивительный строительный материал. На его производство идет менее одной четверти энергии, потребляемой для производства бетона. Древесина — восстанавливаемый материал: на месте вырубленного леса производят посадку молодых деревьев. Часто строят дома из бревен традиционным способом, который не предусматривает экономии древесины. В результате применения более оптимальной конструкции дома в сочетании с хорошими теплоизоляционными материалами — минеральной ватой и стекловолокном — экономятся энергия и материальные ресурсы. В производстве мебели для изготовления столярных изделий широко используют древесные плиты, получаемые в результате прессования и склеивания мелких частиц. При этом можно использовать отходы древесины и непригодные для строительства и производства мебели материалы.

Следует упомянуть еще об одном широко распространенном виде материалов — пластмассах. Они постепенно вытесняют другие материалы, и объем их производства постоянно растет. В этой связи возникает серьезная проблема утилизации отработанных или использованных пластмассовых изделий. Пластмасса не подвергается гниению, а при ее сжигании выделяются хлор, диоксин и другие токсичные вещества. Выход один — надо искать альтернативный вид материала. И один из таких видов найден — это белланд. Он обладает очень ценным свойством: при водородном показателе рН немного выше семи он растворяется в воде. Ему присущи все основные качества пластмассы: прозрачность, эластичность и различная жесткость, что позволяет использовать его для производства как мягких упаковочных, так и прочных изделий. При добавлении нескольких капель лимонной кислоты или другого безвредного вещества белланд коагулирует. Выпавший осадок можно собрать и превратить в гранулы для дальнейшей переработки. Переработанный таким образом материал обладает теми же свойствами, что и исходный, а для его переработки требуется гораздо меньше энергии, чем для первоначального синтеза.

11.6. ЭКОНОМИЯ РЕСУРСОВ НА ТРАНСПОРТЕ

Создание экономичного автомобиля. Среди различных видов транспорта автомобиль занимает одно из ведущих мест. В XX в. автомобильная промышленность выросла в гигантскую отрасль. Только за по-

446

следние 50 лет мировой автопарк увеличился более чем в 12 раз и превысил 700 млн. машин. Сейчас ежегодно в мире выпускается более 40 млн. машин. В Канаде, Германии, Италии, Франции, Японии, Великобритании на 1000 жителей приходится 500—700 автомобилей, в США — около 800, в России — менее 150. Прогнозируется дальнейший рост мирового автомобильного парка и в первой четверти XXI в.

Несколько десятилетий назад во всем мире производились автомобили без надлежащего учета экономичности. Топливо было недорогим и, следовательно, не было стимулов его экономии. В середине 60-х годов XX в. на мировом рынке появились небольшие экономичные автомобили фирмы «Фольксваген». В следующем десятилетии началось массовое производство автомобилей японскими производителями, которые в результате сбора проектной, технологической и инженерной информации создали высокоавтоматизированную и эффективную автомобильную промышленность, способную выпускать экономичные и дешевые автомобили.

Экономия топлива и достижение безвредного выхлопа требуют решения комплекса задач: повышение эффективности сгорания топлива, модернизация двигателя и других узлов автомобиля, использование очищенного от вредных примесей топлива, уменьшение массы автомобиля, антикоррозийная обработка деталей и узлов автомобиля, совершенствование трансмиссионной системы, каталитическое обезвреживание выхлопных газов и др. Повышение эффективности сгорания топлива обеспечивает, например, электронное управление всеми стадиями процесса сжигания смеси в рабочей камере. Все крупные автомобильные компании, особенно в последние годы, занимаются разработкой новых двигателей с наиболее полным сгоранием топлива. Результаты таких разработок налицо: современные автомобили ведущих фирм Европы и США выбрасывают в атмосферу в 10—15 раз меньше вредных веществ, чем автомобили 80-х годов XX в. Этому способствовало введение многоклапанной системы газораспределения, впрыска топлива вместо карбюраторного смесеобразования, электронного зажигания, автомата пуска и пр.

Выпускаемые автомобили становятся гораздо экономичнее. Например, в США с 1986 г. легковой автомобиль стал в два раза экономичнее — потребление бензина на 100 км уменьшилось с 17,8 до 8,7 л. Применение сверхпрочных и вместе с тем ударогазящих материалов (главным образом современных композитов) позволяет уменьшить в 3 раза массу автомобиля (до 470 кг). Обтекаемая форма повышает в 2—6 раз его аэродинамические свойства. Лучшее качество покрышек при меньшей массе автомобиля уменьшает их износ в 3—5 раз. Такой автомобиль похож не на танк, а скорее на самолет.

Установлено, что электрический привод увеличивает экономичность автомобиля на 30—50%, частично за счет регенерации 70% энергии на торможение, ее временного накопления и затем повторного использования для ускорения и подъема в гору. Сочетание сверхлегких материалов с электрическим приводом повышает экономичность автомобиля примерно в 5 раз. Подобный автомобиль будущего будет потреблять топлива 1,2—2 л на 100 км.

Многочисленные полимерные материалы, алюминиевые, высокопрочные стальные и другие сплавы способствуют уменьшению массы автомобиля. Изготовление крупных деталей из полимерных материалов методом литья под давлением, применение композиционных материалов с волокнистой структурой для ведущего вала, керамический блок цилиндров и т.п. — все это коренным образом изменяет не только технологию изготовления автомобиля, но и его конструкцию и внешний вид. Только «впитав» важнейшие естественно-научные достижения, выпускаемый автомобиль будет наносить минимальный вред окружающей среде, станет экономичным и комфортабельным и, следовательно, конкурентоспособным. Такие качества может обеспечить в современных условиях только модернизация технической базы автомобильной промышленности, что является необходимым условием для успешного развития промышленных предприятий, производящих не только автомобили, но и самолеты, аудио- и видеотехнику, персональные компьютеры и т.п.

Автотранспорт и окружающая среда. Во многих больших городах — Берлине, Мехико, Токио, Москве, Санкт-Петербурге, Киеве и др. — загрязнение воздуха автомобильными выхлопами и пылью составляет, по разным оценкам, от 80 до 95%. И люди вынуждены дышать таким воздухом. Человек потребляет в сутки 12 м^3 воздуха, автомобиль — в тысячу раз больше. Например, в Москве автомобильный транспорт поглощает кислорода в 50 раз больше, чем все население города.

Бензиновый и дизельный транспорт потребляет значительную часть нефтепродуктов. Средний КПД двигателя автомобиля — всего 23% (для бензиновых двигателей — 20, для дизельных — 35%). Следовательно, большая часть нефтепродуктов сжигается впустую и наносит вред окружающей среде — идет на нагрев и загрязнение атмосферы. Но и это далеко не полная характеристика автотранспорта. Главный его показатель — не КПД двигателя, а коэффициент загрузки. К сожалению, автомобильный транспорт используется чрезвычайно неэффективно. Транспортное средство должно перевозить груз больше собственной массы, именно в этом его эффективность. Однако такому требованию удовлетворяет лишь велосипед и легкие мотоциклы, остальные машины в основном возят сами себя. В результате истинный КПД автомобильного транспорта

не превышает 4%. Сжигается огромное количество нефтяного топлива, а энергия расходуется чрезвычайно неэффективно.

На протяжении многих веков основным видом транспорта была лошадь. Мощность в 1 л. с. (это в среднем 736 Вт) позволяет достаточно быстро передвигаться и выполнять многие виды работы. В XX в. созданы автомобили мощностью в 100, 200, 400 л. с. и более, и теперь чрезвычайно сложно вернуться к минимальной норме — 1 л. с., при которой легче было бы сохранить окружающую среду.

Как же решить проблему создания эффективного транспорта? Перевести транспорт на газовое топливо, перейти на электромобили, поставить на каждую машину специальный поглотитель вредных продуктов сгорания и дожигать их в глушителе — все это поиски выхода из той ситуации, в которой оказались не только Россия, но и вся Европа, США, Канада, Мексика, Бразилия, Аргентина, Япония, Китай. К сожалению, эти пути не ведут к полному решению данной проблемы. Очевидно, нужен хорошо сбалансированный комплекс мер, в том числе и ограничение выпуска автомобилей, потребляющих при пробеге 100 км более 2 л горючего на тонну массы машины, стимулирование выпуска двухместных машин и др.

Объем выбрасываемых токсичных веществ напрямую зависит от скорости движения транспорта по улицам города. Чем больше автомобильных пробок, тем насыщеннее и гуще выхлопные газы. Поэтому необходимо непрерывно совершенствовать дорожно-транспортную систему города для создания оптимальных условий движения транспорта. Преобразование систем транспортных услуг — один из самых рациональных способов сохранения природных ресурсов и окружающей среды.

Преобразование транспортных услуг. Любой вид транспортировки товаров, материалов, пассажиров влечет за собой потребление энергии и материальных ресурсов и нежелательное воздействие на окружающую среду. Разрушение естественной среды обитания, строительство городов, растущая потребность в доступе к природным ресурсам, массовый туризм — все это повышает роль транспортных услуг.

Удельный расход энергии при грузовых перевозках составляет на железнодорожном транспорте 677, на автомобильном — 2890, на воздушном — 15 839 кДж на 1 т • км, а расход энергии на один пассажирокилометр соответственно равен 720, 1872, 2268 кДж. Эмиссия углекислого газа на 1 т • км при перевозке грузов железнодорожным транспортом составляет 41, автомобильным — 207, воздушным — 1206 г. При пассажирских перевозках эти показатели равны соответственно 37, 141 и 171 г на один пассажирокилометр. При дальности поездки в 600 км легковым автомобилем с каталитическим нейтрализатором в окружающую среду выбрасывается в 5 раз больше диоксида углерода, в 4,6 раза — диоксида

азота, в 8,5 раза — углеводов и в 106 раз — больше монооксида углерода на одного пассажира, чем при поездке на железнодорожном транспорте. Приведенные цифры показывают, что для перевозки пассажиров поезд эффективнее автомобиля, а автомобиль эффективнее самолета.

В некоторых случаях современные технические средства позволяют полностью исключить транспортные услуги в обычном понимании. Так, с помощью электронных телекоммуникаций можно проводить видеоконференции. При этом отпадает необходимость в транспортировке его участников. Телекоммуникационная система, кроме того, позволяет проводить видеовыставки, аукционы и передавать большие объемы информации на любые расстояния. Аналогичная трансформация транспортных услуг происходит при пользовании электронной почтой.

Эффективность транспортных услуг повышается с увеличением пропускной способности автомобильных и железных дорог. С применением современных электронных систем управления можно достичь четырехкратного увеличения пропускной способности железных дорог и сохранить безопасность движения поездов.

Конечно же, повышению эффективности транспортных услуг способствует внедрение новых транспортных средств. Один из новых видов транспортной системы предложен в национальной технологической лаборатории (США, Айдахо). Предложенная транспортная система потребляет в 10 раз меньше топлива на пассажира, чем в автомобилях. Строительство 1 км дороги для такой системы стоит в 5—10 раз дешевле, чем той же протяженности шоссе или железной дороги. Путешествия на подобном транспорте обойдутся пассажиру значительно дешевле, чем на автобусе, самолете, поезде или легковом автомобиле. Называется такое транспортное средство *кибертран*. Управляется оно компьютером и представляет собой сверхлегкое железнодорожное транспортное средство с небольшим числом пассажирских мест. Каждый вагон весит до 4,5 т (1/10 массы обычного вагона) вместе с 14 пассажирами. Кибертран

приводится в движение двумя электродвигателями мощностью по 75 кВт и развивает скорость до 240 км/ч. Кибертран — это уникальное транспортное средство будущего.

В последнее время уделяется большое внимание созданию такой среды обитания, в которой транспортные услуги сводились бы к минимуму и человек чувствовал себя как в деревне, т.е. как в естественной природной среде. После почти полувекового проектирования чрезвычайно больших городских кварталов сейчас предлагаются новые проекты, ориентирован-

ные на человека. Расположение домов в относительно небольших кварталах, сравнительно неширокие улицы, полезное открытое пространство, сохранение естественных участков с зелеными насаждениями, создание пешеходных зон — все это создает удобство, эстетическую ценность и приближает человека к естественным условиям проживания даже в городской среде.

11.7. ГОРОДА И ПРИРОДА

Экологическая проблема городов. Существует мнение, что экологическое состояние городов заметно ухудшилось в последние десятилетия в результате бурного развития промышленного производства. Во многом это так, но все же экологическая проблема городов возникла вместе с их рождением. Правда, она носила другой характер. Города древнего мира отличались большой скученностью населения. Например, в Александрии плотность населения в I—II вв. составила 760 человек, в Риме — 1500 человек на 1 га (в центре современного Нью-Йорка, например, эта цифра не превышает одной тысячи). Это были города с узкими улицами — шириной не более 4 м в Риме и 3 м в Вавилоне, с чрезвычайно низким уровнем санитарного состояния, что приводило к частым вспышкам эпидемий, пандемий, поглощающих не только города, но и всю страну, а иногда и несколько соседних стран. Первая зарегистрированная пандемия чумы, известная под названием «Юстиниановой чумы», вспыхнула в VI в. в Восточной Римской империи и охватила многие страны мира. За 50 лет чума унесла около 100 млн. человеческих жизней.

Сейчас трудно даже представить, как древние города с их многочисленным населением могли обходиться без общественного транспорта, уличного освещения, канализации, т.е. без того, что сейчас принято называть городским благоустройством. Наверное, не случайно именно в те времена известные философы подвергали сомнению целесообразность строительства чрезмерно больших городов. Аристотель, Платон, Гипподам Милетский, позднее Витрувий выступали с трактатами об оптимальных поселениях, их структуре и планировке, о строительном искусстве, архитектуре и взаимосвязи городов с природой.

Средневековые города редко насчитывали более нескольких десятков тысяч жителей. Так, в XIV в. население наиболее крупных европейских городов — Лондона и Парижа — составляло соответственно 100 и 30 тыс. жителей. Однако экологическая проблема городов не стала менее острой. По-прежнему основной опасностью оставались эпидемии. Вторая пандемия чумы (черная смерть) вспыхнула в XIV в. и унесла почти треть населения Европы.

С развитием промышленности стремительно растущие города быстро превзошли по численности населения своих предшественников. В 1850 г. миллионный рубеж перешагнул Лондон, затем Париж. К началу XX в. в мире было уже 12 городов-миллионеров, два из них в России. Рост крупных городов продолжался, и снова как самое грозное проявление дисгармонии городского жителя и природы возникали вспышки эпидемий дизентерии, холеры, брюшного тифа. Реки в городах были чудовищно загрязнены. Например, Темзу в Лондоне стали называть «черной рекой». Зловонные водостоки и водоемы во многих городах становились источником кишечного-желудочных эпидемий. Так, в 1837 г. в Лондоне, Глазго и Эдинбурге брюшным тифом заболела десятая часть населения и примерно треть больных умерла. С 1817 по 1926 г. в Европе отмечено шесть пандемий холеры. В России только в 1848 г. от холеры погибло около 700 тыс. человек. Со временем благодаря достижениям естествознания и технологий, успехам биологии и медицины, развитию водопроводной и канализационной систем и благоустройству городов эпидемии отступили.

В XX в. как никогда бурно развивались производительные силы. Объемы промышленного производства увеличились в сотни и тысячи раз, потребление энергии возросло более чем в 1000 раз, скорость передвижения — в 400 раз, скорость передачи информации — в миллионы раз и т.д. Вместе с тем увеличивалась численность городского населения, и, как следствие, стали укрупняться города. И это, конечно, не обходится без отрицательных последствий для природы, поскольку основные материальные ресурсы черпаются из земных недр. Кроме того, потребляя чрезвычайно большой объем природных ресурсов, современный город дает огромное количество отходов. Например, город с миллионным населением ежегодно выбрасывает в атмосферу около 11 млн. т водяных паров, 2 млн. т пыли, 1,5 млн. т углекислого газа, 0,25 млн. т сернистого ангидрида, 0,3 млн. т оксидов азота и производит чрезвычайно много промышленных и бытовых отходов. По гигантским масштабам воздействия на биосферу подобный город можно образно сравнить с вулканом. Чем больше город, тем дальше человек удаляется от живой природы, тем сложнее решается порожденная им экологическая проблема.

Какова же специфика экологической проблемы современных больших городов? Прежде всего — многочисленность источников воздействия на окружающую среду и их масштабность. Сотни крупных промышленных предприятий, сотни тысяч или даже миллионы транспортных средств. Изменение структуры и свойств промышленных и бытовых отходов: раньше практически все отходы были естественного происхождения (кости, шерсть, натуральные ткани, дерево, бумага, навоз и др.), и они легко включались в кругооборот природы, а сейчас значительная часть

отходов — синтетические вещества, что замедляет и часто затрудняет их естественное, безвредное превращение.

Особенности мегаполисов. Экологическая проблема городов усложняется по мере их роста. Города меняются не только количественно, но и качественно. Современные гигантские метрополии, густки городов с многомиллионным населением простираются на многие сотни квадратных километров, поглощая леса, поля, поселения и образуя городские агломерации, урбанизированные районы — *мегаполисы*. Например, на Атлантическом побережье США уже сформировался мегаполис Босваш с 80-миллионным населением, объединяющий Бостон, Нью-Йорк, Филадельфию, Балтимор, Вашингтон и другие города. Огромные многолюдные агломерации сложились в ФРГ (Рурская), Англии (Лондонская и Бирмингемская), Нидерландах (Рандстад Холланд) и других странах.

Появление городских агломераций — это качественно новый этап во взаимодействии города и природы. В городах-гигантах остается очень мало места для живой природы. Процессы взаимодействия современной городской агломерации с окружающей природной средой чрезвычайно сложны, многогранны, и управлять ими весьма трудно. Коренные преобразования природы происходят не только в черте подобного города, но и далеко за его пределами. Например, физико-геологические изменения почв, подземных вод проявляются в зависимости от конкретных условий на глубине до 800 м и в радиусе 25—30 км. Происходит загрязнение, уплотнение и нарушение состава и структуры почвы и разных слоев грунта, образуются воронки и т.п. На еще больших расстояниях ощущаются биогеохимические изменения биосферной среды: обедняется растительный и животный мир, деградируют леса, окисляется почва. От этого страдают прежде всего люди, живущие в зоне влияния города или агломерации. Им приходится дышать отравленным воздухом, пить загрязненную воду, питаться недоброкачественными продуктами.

Специалисты считают, что в ближайшем десятилетии число городов-миллионеров на Земле приблизится к 300. Примерно половина из них переступит рубеж трехмиллионного города. Подобные города появятся и в развивающихся странах. Можно назвать крупные города с численностью населения более 10 млн. человек: Мехико — 26,3, Сан-Пауло — 24, Токио — 17,1, Калькутта — 16,6, Бомбей — 16, Нью-Йорк — 15,5, Шанхай — 13,8, Сеул — 13,5, Дели и Рио-де-Жанейро — по 13,3, Буэнос-Айрес и Каир — по 13,2 млн. человек. Предполагается, к 2010 г. число таких городов удвоится.

Целесообразно ли повторять ошибки западной урбанизации и сознательно идти по пути создания мегаполисов там, где в этом нет необходимости? При быстром росте города столь же быстро обостряется экологическая проблема. Оздоровление городской среды — одна из самых ост-

рых социальных задач. Первые действия при ее решении — создание прогрессивных малоотходных технологий, бесшумного и эффективного чистого транспорта. Решение экологической проблемы города тесно связано с планировкой города, размещением крупных промышленных предприятий и иных комплексов с учетом их роста и развития, а также с выбором транспортных средств. Такая проблема безусловно сложна. Тем не менее современный уровень науки позволяет находить ее решение не только для малых, но и для больших городов.

11.8. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ УТИЛИЗАЦИИ

Проблема утилизации углекислого газа. В последнее время все больше людей осознают себя населением одной коммунальной квартиры с общей легкораннимой атмосферой. Если и впредь выбрасывать в нее в огромных количествах углекислый газ, оксиды серы и другие газы, ускорится приближение парникового эффекта с надвигающейся угрозой таяния ледников.

В атмосфере Земли сейчас содержится около 2,3 млрд. т углекислого газа, которые ежедневно пополняются выбросами транспорта и промышленных предприятий. Некоторая часть углекислого газа поглощается растительностью Земли, другая — растворяется в океане, но все же наблюдается увеличение его концентрации. Ученые многих стран предлагают разные способы утилизации углекислого газа. Один из них заключается в превращении углекислого газа в сухой лед или жидкость с последующим его выводом ракетами за пределы атмосферы. Однако расчеты показывают, что при выводе на орбиту необходимо сжечь столько топлива, что образовавшееся при этом количество углекислого газа превысит количество газа, отправленного в космос. Казалось бы, сухой лед можно складировать где-нибудь на севере в теплоизолированных хранилищах, где он будет медленно испаряться. Однако для хранения лишь половины углекислого газа, выбрасываемого ежегодно только предприятиями Германии, пришлось бы сделать из сухого льда десять огромных шаров — диаметром по 400 м. Можно, конечно, идти другим путем — усилить естественные процессы поглощения углекислого газа из атмосферы, расширив площади, занятые лесом. Однако для поглощения выбросов, например, только угольных ТЭЦ той же Германии придется засадить лесом громадную площадь — 36 тыс. км².

Предлагается закачивать углекислый газ, переведенный в жидкую фазу, в выработанные нефтяные и газоносные пласты. При закачке они будут вытеснять на поверхность не извлеченные остатки нефти и природного газа. Правда, стоимость электроэнергии ТЭЦ в итоге вырастет на 40%, а прибыль от дополнительно добытых горючих ископаемых снизит

ее всего на 2%. Да в мире и нет пока достаточно объемных для такого хранения выработанных месторождений нефти и газа.

Вместе с углекислым газом в атмосферу выбрасываются гораздо более опасные газы — оксиды серы. Известно, что оксиды серы образуются при сгорании топлива — угля или нефтепродуктов, содержащих серу. При очистке от таких газов дым пропускается через громоздкие и дорогостоящие фильтрующие устройства. Недавно предложен более эффективный микробиологический способ очистки топлива от серы.

Кажется, у человечества нет другого выхода, кроме ограничения сжигания ископаемого топлива. Пока этот простой способ остается самым доступным и эффективным.

Утилизация бытовых отходов. Хорошо оснащенный различными техническими средствами человек активно воздействует на природу: в невиданных ранее количествах добывает и использует земные богатства. В результате накапливается громадное количество бытовых и промышленных отходов. В России, например, ежегодно образуется около 7 млрд. т отходов (включая промышленные), из которых лишь 2 млрд. перерабатываются.

Во многих промышленно развитых странах добиваются неплохих результатов при утилизации отходов. Рассмотрим более подробно, как решается проблема утилизации, например, в Рейнско-Вестфальском промышленном районе Германии. Не так давно этот район считался одним из самых неблагополучных в экологическом отношении не только во всей Западной Европе, но и в мире. Действительно, здесь, севернее и западнее Рейнских сланцевых гор, в последнее столетие очень бурно развивались промышленность, транспорт, быстро росли города и рабочие поселки. Столь плотно застроенных и так густо населенных мест, наверное, нет даже в самых многолюдных районах Японии и Китая. Уровень жизни в Германии весьма высок. Многие имеют свои дома и почти у каждого дома — небольшой участок земли, хозяйственные постройки и гаражи. Можно представить, сколько бытового и разного другого мусора здесь изо дня в день, из года в год выбрасывали на свалки, а потом сжигали прямо в поле.

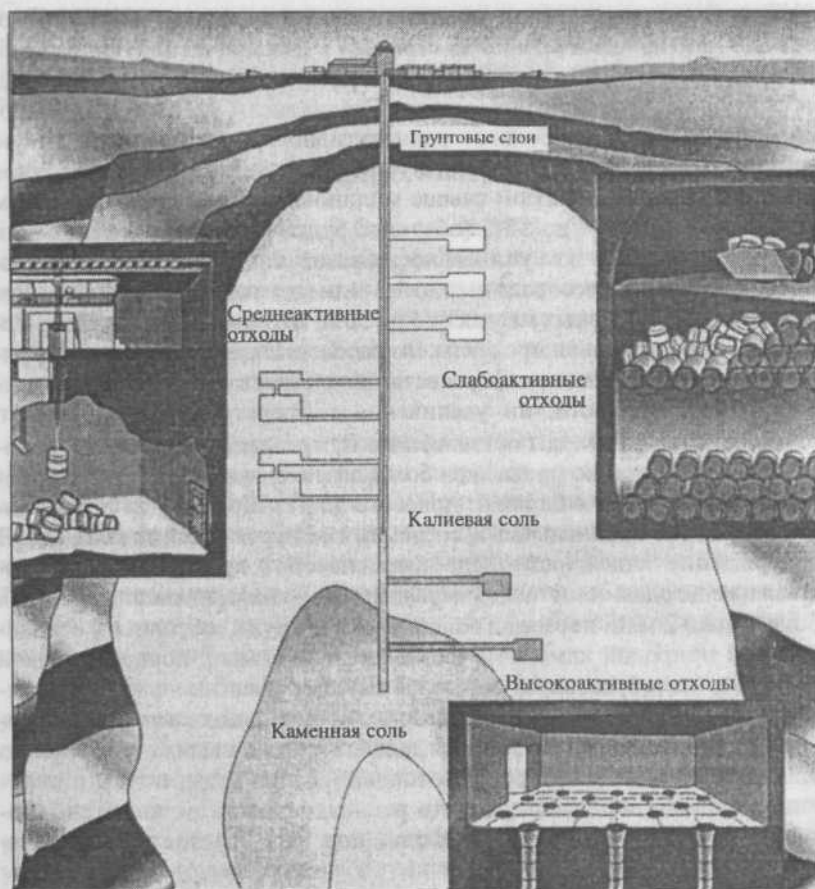
И вот совсем недавно в Хертене создан Центр вторичной добычи сырья — предприятие по переработке отходов. Голубовато-сери-синие здания, две белые высокие тонкие трубы — все выглядит удивительно легким и нарядным. И земля, и небо над ней, и вообще все вокруг здесь действительно изменилось до неузнаваемости. Даже асфальт и бетон на подъездных путях кажутся голубыми. Кругом зеленые газоны, молодые деревца. Это предприятие, построенное на пустыре, занимает гораздо меньшую площадь, чем обычная горящая свалка.

В мусорном «крематории» не просто сжигают самые разные отходы — здесь же налажено и производство вторичного сырья. В огромные мешки собирают остаточные инертные продукты. За сутки их набирают до 10 т и сразу же увозят на специальное место, где используют в качестве грунта для зеленых насаждений. В прошлом унылый обширный пустырь превращается в культурный парк — зеленую зону, а само предприятие вырабатывает немало электроэнергии. При этом постоянно внедряются новые технологические способы переработки отходов. Вне всякого сомнения подобные предприятия вторичной добычи сырья приближают человека к природе.

Захоронение ядерных отходов. Жизнь современного общества немыслима без мощных источников энергии: гидро-, тепловых и атомных электростанций. Энергия ветра, Солнца, приливов пока вносит относительно небольшой вклад в общий объем вырабатываемой энергии. Тепловые станции выбрасывают в воздух громадное количество пыли и газов. В них содержатся и углекислый газ, и радионуклиды, и сера, которая возвращается на землю в виде кислотных осадков. Гидроресурсы даже в нашей огромной стране ограничены, к тому же строительство гидростанций в большинстве случаев приводит к нежелательному изменению ландшафта и климата. Один из основных источников энергии — атомные электростанции. Они отличаются многими достоинствами, в том числе и экологическими, а применение надежной защиты делает их достаточно безопасными. Однако часто обсуждается вопрос: что делать с радиоактивными отходами? Все ядерные отходы АЭС хранятся в основном на территории станций. В целом действующая на АЭС схема обращения с отходами вполне обеспечивает полную безопасность их хранения без влияния на окружающую среду и соответствует требованиям МАГАТЭ. Как правило, на территории АЭС строят специальные хранилища, где размещают стальные контейнеры с радиоактивными отходами, заключенными в стекло-минеральную матрицу.

Нужно ли вообще хоронить отходы — ведь не исключено, что какой-нибудь изотоп понадобится для технологии будущего? Хотя этот вопрос и рационален, но при ответе на него следует учесть, что количество отходов постоянно растет, накапливается, так что и в будущем такой источник изотопов вряд ли иссякнет. При необходимости просто будет изменена технология переработки. Проблема в другом — приповерхностные хранилища гарантируют безопасность только в течение примерно ста лет, а отходы станут малоактивны лишь через несколько миллионов лет.

Известна идея переработки долгоживущих радиоактивных изотопов в ядра с меньшим временем жизни с помощью ядерных реакций, протекающих в самих реакторах, при эксплуатации их в особом режиме. Каза-



Р и с. 11.1. Утилизация радиоактивных отходов

лось бы, чего проще, и никакого дополнительного оборудования не нужно. К сожалению, различие скоростей наработки новых и переработки уже образовавшихся долгоживущих изотопов невелико, и, как показывают расчеты, положительный баланс наступит лишь примерно через 500 лет. Другими словами, сами себя реакторы излечить от радиоактивности вряд ли смогут.

В некоторых странах хранилища особо опасных долгоживущих изотопов располагаются под землей на глубине в несколько сотен метров в скальных породах (рис. 11.1). Контейнер с радиоактивными отходами имеет антикоррозийную оболочку, а сами хранилища изолируются мно-

гометровыми слоями глины, препятствующей проникновению грунтовых вод. Одно из таких хранилищ строится в Швеции на полукилометровой глубине. Это весьма сложное инженерное сооружение включает разнообразную контрольную аппаратуру. Специалисты уверены в надежности данного сверхглубокого радиоактивного могильника. Такую уверенность вселяет обнаруженное в Канаде на глубине 430 м природное рудное образование объемом свыше миллиона кубометров с огромным содержанием урана — до 55% (обычные руды содержат проценты или даже доли процента). Это уникальное образование, возникшее в результате осадочных процессов примерно 1,3 млн. лет назад, окружено слоем глины толщиной в разных местах от 5 до 30 м, который действительно надежно изолировал уран и продукты его распада. На поверхности над рудным образованием и в его окрестностях не обнаружено следов ни повышения радиоактивности, ни увеличения температуры.

Радиоактивные отходы остекловывают, превращая в прочные монолитные блоки. Недавно предложен более эффективный способ — заключение радионуклидов в блоки из полевого шпата. Хранилища таких блоков снабжаются специальными системами контроля и отвода тепла. В подтверждение надежности подобных способов хранения можно сослаться на еще один естественный феномен. В Экваториальной Африке, в Габоне, около 2 млн. лет назад вода и урановая руда собрались в созданной самой природой каменной чаше внутри скальных пород и в такой пропорции, что образовался естественный, без участия человека, атомный реактор, и там в течение длительного времени, пока не выгорел скопившийся уран, шла цепная реакция деления, как и в наших искусственно созданных атомных реакторах. Изотопный анализ воды, почвы и окружающих горных пород показал, что радиоактивность осталась замурованной и за 2 млн. лет, прошедших с тех пор, ее диффузия оказалась незначительной.

На АЭС образуется немало радиоактивных отходов. Например, в Швеции, энергетика которой на 50% атомная, к 2010 г. накопится примерно 200 тыс. м³ требующих захоронения радиоактивных отходов, из которых 15% содержат долгоживущие изотопы. Этот объем сравним с объемом концертного зала и это только лишь для одной маленькой Швеции!

Многие специалисты приходят к выводу, что наиболее рациональное место захоронения — недра Земли. Для гарантии радиационной безопасности глубина захоронения должна быть не менее 0,5 км. Для большей безопасности лучше располагать отходы еще глубже, но, увы, стоимость захоронения при этом существенно возрастает. Относительно недавно предложена идея захоронения высокоактивных ядерных отходов в глубоких скважинах, заполненных легкоплавким веществом, например серой.

Герметичные капсулы с высокоактивными отходами, погруженные на дно скважины, расплавляют серу собственным тепловыделением. Таким образом, проблема захоронения радиоактивных отходов довольно сложна, но решается.

11.9. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Обновление технической базы различных энергосистем и промышленных предприятий требует внедрения перспективных материалов и новейших технологий, которые прямо или косвенно способствуют сохранению окружающей среды. В настоящее время во всем мире признаны перспективными керамические, композиционные, тонкопленочные и другие материалы, производство которых основано на современных технологиях.

В настоящее время интенсивно развивается наноэлектронная и генная технологии, которые включают операции, производимые над различными молекулярными объектами. При сочетании некоторых операций наноэлектронной и генной технологий удалось связать нитями ДНК наночастицы из золота в трехмерную структуру. Кроме того, из отрезков ДНК построен мостик между двумя электродами, на который осаждалось серебро, и в результате получился своеобразный электропроводящий элемент в виде нити диаметром 100 нм.

Современные биотехнологии позволяют производить самоконсервирующееся молоко, быстрые в приготовлении сыры, вкусный хлеб, глюкозу и др. Отработана технология производства сахара из кукурузы и пшеницы. Полученный таким образом сахар на треть дешевле тростникового.

Генная технология вторгается в наследственный механизм многих растений. Например, выращены трансгенные сорта картофеля: удароустойчивый (это важно при его транспортировке и хранении), крахмальный и малокрахмальный (для стола), содержащий много ценных протеинов. С применением генных операций удалось создать два новых сорта помидоров: один из них не подвержен быстрому гниению, а другой содержит сравнительно мало воды. Получены не подверженные заболеваниям растения какао, стойкая к заморозкам клубника, кофейные зерна с пониженным содержанием кофеина. Благодаря изменению наследственного аппарата улучшены качества многих сельскохозяйственных культур. Достигнуты успехи и в животноводстве. Генная технология позволила вывести новую породу свиней — без излишней жирности: свинина становится диетическим мясом. Другое новшество — корова дает молоко, не скисающее в течение нескольких дней.

В недалеком будущем ученые смогут передать сельскому хозяйству множество трансгенных видов растений и животных, что поможет ре-

шить важнейшую проблему обеспечения человечества продуктами питания. При этом речь идет не только о количестве, но и о качестве. Уже сегодняшние успехи генных технологий вселяют надежду: люди в XXI в. не столкнутся с голодом.

Изучение свойств вещества на молекулярном уровне дает свои плоды. Современные химические предприятия не отравляют, как раньше, атмосферу выбросами и не заваливают землю ядовитыми отходами. Их продукция содержит гораздо меньше вредных для природы и человека компонентов. Приведем примеры. Долгое время основной составляющей моющих средств были соединения фосфора, которые после отработки попадали со стоком воды в водоемы. Фосфор стимулировал бурный рост водорослей, потребляющих много кислорода из воды, в результате чего она становилась обедненной кислородом и малопригодной для жизни рыбы. Новые моющие средства производятся на безопасной химической основе. Еще один пример. Для окружающей среды опасны хлорорганические соединения, широко применяемые в производстве целлюлозы. Совсем недавно германский популярный еженедельник «Штерн» напечатал весь тираж на бумаге шведской фирмы, произведенной без хлора, — это первый шаг к облегчению нагрузки на природу и блестящий пример для модернизации гигантской целлюлозо-бумажной промышленности.

11.10. ГЛОБАЛИЗАЦИЯ БИОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

В лексикон современной жизни все прочнее входит слово «глобальный». Глобальные катастрофы, глобальный экономический кризис, глобальное потепление, глобальная сеть и т.п. Совсем недавно к этим словосочетаниям добавилось слово глобализация. Эти слова используют не только ученые, изучающие проблему потребления природных ресурсов и сохранения окружающей среды, но и журналисты, освещающие события повседневной жизни, читатели и зрители. Они относятся к природным процессам, происходящим не в отдельной точке нашей планеты, деревне или крупном городе, а во всей биосфере.

Термин «глобальная катастрофа» появился не вчера, и не в прошлом десятилетии, а гораздо раньше: им пользовались известные французские палеонтологи Ж. Кювье и С.И. Жоффруа еще в начале XIX в. для объяснения обнаруженного ими чередования слоев с останками животных разных видов. Гораздо позднее, в конце XIX в. шведский ученый А. Аррениус, описывая парниковый эффект, указывал на его крупномасштабное последствие — глобальное потепление.

Глобальные биосферные процессы можно условно разделить на два вида — естественные и антропогенные. *Естественные глобальные процессы* развиваются при внутрипланетарном и космическом воздействии

на биосферу, не связанном или мало связанном с деятельностью человека. К ним относятся различные природные стихии внутрипланетарного происхождения: извержения вулканов, землетрясения, ураганы и др., а также процессы, рожденные, например, активностью Солнца, падением крупных метеоритов и имеющие космическую природу. *Антропогенные глобальные процессы* вызываются активным вторжением человека в биосферу. Это парниковый эффект, выпадание кислотных осадков, разрушение озонового слоя и др. Естественные и антропогенные глобальные процессы взаимосвязаны. Например, при извержении вулканов в атмосферу выбрасывается громадное количество газов, ускоряющих парниковый эффект и разрушение озонового слоя. И наоборот, с изменением состава атмосферы в результате парникового эффекта и с нарушением защитных свойств озонового слоя возникают условия для зарождения ураганов, торнадо и т.п.

Глобальность биосферных процессов вне зависимости от их вида заключается в том, что, возникнув в некоторой точке земного шара, они медленно или быстро распространяются на всю биосферу. Например, выбрасываемые каким-либо промышленным предприятием или тепловой электростанцией оксиды серы поднимаются высоко вверх, уносятся ветром на большие расстояния и выпадают в виде кислотных осадков, приносящих ущерб живой и неживой природе в местах обитания, которые могут находиться как внутри, так и вне той страны, где расположены источники опасных газов. К подобным последствиям приводит огромная масса углекислого газа выхлопных газов автомобильного транспорта, сосредоточенного в том или ином городе либо на магистрали. Несмотря на локальный характер происхождения, углекислый газ порождает парниковый эффект, ведущий к глобальному потеплению и, следовательно, к изменению климата на всей планете, влияющему на здоровье и образ жизни каждого человека, вне зависимости от того, на каком континенте, в какой стране он проживает. А это означает, что источник возмущения биосферных процессов, появившийся в какой-либо одной стране в результате деятельности сравнительно небольшой группы людей, затрагивает интересы многомиллиардного населения нашей планеты, т.е. носит глобальный характер.

Последняя новинка современной цивилизации — компьютерная сеть Интернет, охватывающая информационное пространство всего земного шара, открыла невиданную ранее возможность пользоваться информацией, полученной в любой точке нашей планеты. Причем такая информация становится доступной в течение весьма непродолжительного времени, почти мгновенно. Интернет — это уникальное средство телекоммуникации, способствующее развитию личности и общества в целом. Однако Интернет имеет и обратную сторону медали: через него может распро-

страняться и недостоверная, деструктивная информация, направленная на деградацию человека. А это означает, что подобная информация, рожденная одним пользователем, как заразная инфекция, мгновенно и бесконтрольно распространяется по всей планете, приобретая глобальный масштаб.

С развитием многогранной деятельности человека возмущение биосферных процессов активизируется, происходит их глобализация. Об этом надо знать всем: и тем, кто разжигает костер, и тем, кто сознательно и бессознательно губит зеленые насаждения, и тем, кто нерационально потребляет природные и энергетические ресурсы. Необдуманные или злонамеренные действия одного человека или небольшой группы людей так или иначе ускоряют глобализацию процессов. Эгоистические или другие побуждения подобных действий не вписываются в рамки нравственности и духовных качеств человека. Человек, хорошо усвоивший библейскую истину: «Возлюби ближнего своего, как самого себя» и представляющий последствия своих действий, задумается перед тем, как разжигать костер, дым которого приносит неприятности таким же, как он ближним по разуму людям, или перед тем, как посылать в Интернет разрушающую информацию, приносящую вред ближним. Только в этом случае можно надеяться, что колоссальные силы человечества будут направлены на преобразование биосферы в ноосферу, и каждый человек — человек разумный — внесет вклад в создание привлекательных дворцов гармонии природы и человека.

Контрольные вопросы

1. Какие условия необходимы для создания гармонии природы и человека?
2. Благодаря каким преобразованиям возможно сохранение природных ресурсов?
3. В чем заключается обновление энергосистем?
4. Приведите цифры, характеризующие сохранение тепла и сбережения энергии в доме в Скалистых горах.
5. Назовите способы эффективного потребления энергии в жилых домах.
6. Как можно сэкономить энергию при ее бытовом потреблении?
7. Можно ли сэкономить электроэнергию в осветительных приборах?
8. Каким образом компьютер помогает сэкономить энергию?
9. Охарактеризуйте сбережение материальных ресурсов на промышленном предприятии.
10. В чем заключается эффективное потребление материальных ресурсов?
11. Назовите цифры, характеризующие экономию материалов при производстве легковых автомобилей.
12. Приведите примеры повышения эффективности потребления воды.
13. Охарактеризуйте особенность эффективного потребления современных материалов.
14. В чем заключается экономия материальных ресурсов на транспорте?
15. Какими качествами должен обладать современный автомобиль?

16. Приведите цифры, характеризующие экономичный автомобиль.
17. Назовите основную причину сравнительно низкой эффективности автомобильного транспорта.
18. В чем заключается воздействие автотранспорта на среду?
19. Перечислите пути создания эффективных транспортных средств.
20. Как можно преобразовать транспортные услуги?
21. Приведите цифры, характеризующие потребление энергии разными видами транспорта: железнодорожным, автомобильным и воздушным.
22. В чем заключаются экономические проблемы городов?
23. Чем отличаются современные города от древних?
24. Перечислите экологические особенности мегаполисов.
25. Как решается экологическая проблема городов?
26. Охарактеризуйте способы утилизации вредных газов.
27. Какова технология утилизации бытовых отходов?
28. Как производят захоронение радиоактивных отходов?
29. Охарактеризуйте природные образования с высоким содержанием урана.
30. Решаема ли проблема надежного захоронения?
31. Назовите перспективные материалы и технологию их производства.
32. Приведите пример сочетания микроэлектронной технологии и биотехнологии.
33. Охарактеризуйте возможности генных технологий.
34. Какова роль генных технологий в обеспечении населения питанием?
35. Перечислите пути оздоровления среды нашего обитания.
36. В чем заключается глобализация биосферных процессов?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природа как объект изучения естествознания сложна и многообразна в своих проявлениях: она непрерывно изменяется и находится в постоянном движении. Круг знаний о ней становится все шире, и область сопряжения его с безграничным полем незнания превращается в громадное размытое кольцо, усеянное научными идеями — зернами естествознания. Некоторые из них своими ростками пробьются в круг классических знаний и дадут жизнь новым идеям, новым естественно-научным концепциям, другие же останутся лишь в истории развития науки. Их сменят затем более совершенные. Такова диалектика развития естественно-научного познания окружающего мира.

О природе как о предмете естествознания можно говорить строгим научным языком. Про нее же можно сказать и простые слова, несущие глубокий смысл, как это сделал немецкий мыслитель и естествоиспытатель Иоганн Гёте:

«Природа! Окруженные и охваченные ею, мы не можем ни выйти из нее, ни глубже в нее проникнуть. Непрошенная, неожиданная, захватывает она нас в вихре своей пляски и несется с нами, пока, утомленные, мы не выпадем из рук ее.

Она вечно говорит с нами, но тайн своих не открывает. Мы постоянно действуем на нее, но нет у нас над ней никакой власти.

Она — единственный художник: из простейшего вещества творит она противоположнейшие произведения, без малейшего усилия, с величайшим совершенством и на все кладет какое-то нежное покрывало. Она беспрерывно думает и мыслит постоянно, но не как человек, а как природа. У нее собственный всеобъемлющий смысл.

Нет числа ее детям. Ко всем она равно щедра, но у нее есть любимцы, которым много она расточает, много приносит в жертву. Великое она принимает под свой покров.

Жизнь — ее лучшее изобретение; смерть для нее средство для большей жизни.

Она окружает человека мраком и гонит его к свету. Всякое ее деяние благо, ибо всякое необходимо; она медлит, чтобы к ней стремились; она спешит, чтобы ею не насытились.

У нее нет речей и языка, но она создает тысячи языков и сердец, которыми она говорит и чувствует. Венец ее — любовь. Любовью только приближаются к ней. Одним прикосновением уст к чаше любви искупает она целую жизнь страданий.

Она сурова и кротка, любит и ужасает, немощна и всемогуща. Не вырвать у нее признания в любви, не выманить у нее подарка, разве добровольно она подарит. Как она творит, так можно творить вечно».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вернадский В.И.* Живое вещество и биосфера. — М.: Наука, 1999.
2. *Пуанкаре А.* О науке. — М.: Наука, 1983.
3. *Карпенков С.Х.* Концепции современного естествознания: Краткий курс. — М.: Высшая школа. — 3-е изд., 2003.
4. *Карпенков С.Х.* Концепции современного естествознания. Практикум. — М.: Высшая школа, 2002.
5. *Карпенков С.Х.* Основные концепции естествознания. — М: Академический проект, 2002.
6. *Карпенков С.Х.* Современные преобразователи и накопители информации. — М.: Логос, 2003.
7. *Моисеев Н.Н.* Расставание с простотой. — М.: Аграф, 1998.
8. *Дарвин Ч.* Происхождение видов путем естественного отбора. — СПб.: Наука, 1991.
9. *Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л.* Фактор четыре. — М.: Academia, 2000.
10. *Карпенков С.Х.* Тонкопленочные накопители информации. — М.: Радиосвязь, 1993.
11. *Реввель П., Реввель Ч.* Среда нашего обитания: В 4 кн. — М.: Мир, 1995.
12. *Климов Е.А.* Основы психологии. — М.: ЮНИТИ, 1997.
13. *Ичас М.* О природе живого: механизмы и смысл. — М.: Мир, 1994.
14. *Фримантл М.* Химия в действии: В 2 ч. — М.: Мир, 1998.

СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

А

Адаптация (лат. *adaptatio* — приспособление) — приспособление функций и строения организма к условиям существования.

Аденин — пуриновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот (одна из четырех «букв» генетического кода), других биологических веществ.

Адреналин — гормон мозгового слоя надпочечников животных и человека. Поступая в кровь, повышает потребление кислорода и артериальное давление и содержание сахара в крови, стимулирует обмен веществ и т.д.

Адсорбция (лат. *ad* — на, при и *sorbeo* — поглощаю) — поглощение газов, паров или жидкостей поверхностным слоем твердого тела (адсорбента) или жидкости.

Адроны (греч. *adros* — сильный) — элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии (барионы и мезоны, включая все резонансы).

Аккреция (лат. *accretio* — приращение, увеличение) — гравитационный захват вещества и последующее его падение на космическое тело (например, звезду).

Алкалоиды (ср.-век. лат. *alcali* — щелочь и греч. *eidos* — вид) — обширная группа азотсодержащих циклических соединений, главным образом растительного происхождения.

Аллотропия (греч. *allos* — другой и *tropos* — поворот, свойство) — существование химических элементов в виде двух или более простых веществ (например, кислород O_2 и озон O_3).

Алюмосиликаты — группа порообразующих минералов класса силикатов; алюмокремниевых соединений, главным образом растительного происхождения.

Аминокислоты — класс органических соединений, содержащих карбоксильные ($-COOH$) и аминогруппы ($-NH_2$), обладающих свойствами кислот и оснований.

Аминопласты (карбамидные пластики) — пластмассы на основе мочевино- или меламиноформальдегидных смол.

Анизотропия (греч. *anisos* — неравный и *tropos* — направление) — зависимость свойств среды от направления. Она характерна, например, для механических, оптических, магнитных, электрических и других свойств кристаллов.

Аннигиляция (лат. *annihilatio* — превращение в ничто, уничтожение) — превращение элементарных частиц и античастиц в другие частицы, число и вид которых определяются законами сохранения (например, при аннигиляции пары электрон — позитрон образуются фотоны).

Антивещество — материя, состоящая из античастиц.

Античастицы — элементарные частицы, имеющие ту же массу, спин, время жизни и некоторые другие внутренние характеристики, что и их «двойники», но отличающиеся от

них знаками электрического заряда и магнитного момента, барионного заряда, лептонного заряда, странности и др.

Аскорбиновая кислота (витамин С) — водорастворимый витамин, синтезируемый растениями (из галактозы) и животными (из глюкозы), за исключением приматов и некоторых других животных, которые получают аскорбиновую кислоту с пищей.

Астеносфера (греч. *asthenes* — слабый и *сфера*) — слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли, подстилающей литосферу.

Ауксины (греч. *auxano* — увеличиваю, расту) — группа гормонов растений, регулирующих их рост, ростовые реакции на свет и силу тяжести.

Ацетальдегид (уксусный альдегид) CH_3CHO — бесцветная жидкость с резким запахом, являющаяся сырьем в производстве уксусной кислоты, уксусного альдегида и др.

Ацетилен — бесцветный газ, получаемый из природных газов или карбида кальция и служащий сырьем для синтеза винилхлорида, ацетальдегида и др.; используется как горючее при сварке и резке металлов.

Аэробные организмы — большинство живых организмов, которые могут существовать только при наличии свободного молекулярного кислорода.

Б

Барионы (греч. *barys* — тяжелый) — «тяжелые» элементарные частицы с полуцелым спином и массой, не меньшей массы протона.

Белки — природные высокомолекулярные органические соединения, построенные из остатков 20 аминокислот, соединенных пептидными связями в длинные цепи.

Биогеоценоз (*био*, *гео* и греч. *koinos* — общий) — однородный участок земной поверхности с определенным составом живых и косных компонентов.

Биосинтез — образование необходимых организму веществ в живых клетках с участием биокатализаторов — ферментов.

Биосфера — область распространения жизни на Земле; включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и литосферу, населенные живыми организмами.

Биота (греч. *biote* — жизнь) — исторически сложившаяся совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, объединенных общей площадью распространения; в отличие от биоценоза может не иметь связей между видами.

Биотехнология — использование живых организмов и биологических процессов в промышленном производстве ферментов, витаминов, белков, аминокислот, антибиотиков и т.п.

Биоценоз (*био* и греч. *koinos* — общий) — совокупность растений, животных и микроорганизмов, населяющих данный участок суши или воды и характеризующихся определенными отношениями между собой и приспособленностью к условиям окружающей среды (например, биоценоз озера, леса и т.д.).

Бифуркация (лат. *bifurcus* — раздвоенный) — раздвоение, вилообразное разделение, разветвление траектории движения и т.п.

Бозоны — частицы или квазичастицы с целым спином, подчиняющиеся статистике Бозе—Эйнштейна.

Борогидриды металлов — соединения общей формулы $\text{M}[\text{BH}_4]$, где М — металл в степени окисления n ; применяются как восстановители, источники H_2 для приготовления катализаторов, нанесения металлических покрытий.

Бридер (англ. *breeder*) — разновидность атомного реактора-размножителя.

В

Вакцина (лат. *vaccina* — коровья) — препарат из живых (обезвреженных) или убитых микроорганизмов (а также из отдельных антигенных компонентов микробной клетки).

Валентность (лат. *valentia* — сила) — способность атомов химического элемента (или атомной группы) образовывать определенное число химических связей с другими атомами (или атомными группами); вместо валентности часто пользуются более узкими понятиями, например степень окисления, координационное число.

Вивисекция (лат. *vivus* — живой и *sectio* — рассечение) — операция на живом животном с целью изучения функций организма, действия на него различных веществ, методов лечения и т.п.

Вирусы (лат. *virus* — яд) — возбудители инфекционных болезней растений, животных и человека, размножающиеся только внутри живых клеток.

Вискоза (позднелат. *viscosus* — вязкий) — высоковязкий раствор продуктов взаимодействия щелочной целлюлозы с сероуглеродом в разбавленном растворе едкого натра; применяется главным образом для получения вискозного волокна, пленки (целлофан), искусственной кожи.

Г

Галактики (греч. *galaktikos* — млечный) — гигантские (до сотен миллиардов звезд) звездные системы; к ним относится и наша галактика, включающая Солнечную систему. Галактики подразделяются на эллиптические (Е), спиральные (S) и неправильные (Ir). Ближайшие к нам галактики — Магелановы Облака (Ir) и Туманность Андромеды (S).

Гармония (греч. *harmonia* — связь, стройность, соразмерность) — соразмерность частей; слияние различных компонентов объекта в единое органическое целое; организованность космоса в противоположность хаосу.

Гемоглобин (греч. *haima* — кровь и лат. *globus* — шар) — красный дыхательный пигмент крови человека, позвоночных и некоторых беспозвоночных животных; переносит кислород от органов дыхания к тканям и углекислый газ от тканей к дыхательным органам.

Ген (греч. *genos* — род, происхождение) — единица наследственного материала, ответственная за формирование какого-либо элементарного признака.

Геном — совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма.

Геоид (*geo* и греч. *eidos* — вид) — фигура Земли, ограниченная уровенной поверхностью, продолженной под континенты; поверхность геоида отличается от физической поверхности Земли, на которой резко выражены горы и океанические впадины.

Гербициды (лат. *herba* — трава и *caedo* — убиваю) — химические препараты из группы пестицидов для уничтожения главным образом сорной растительности.

Геронтология (греч. *gerontos* — старик и ... *логия*) — наука, изучающая старение живых организмов, в том числе и человека.

Гиббереллины — группа гормонов растений (фитогормонов); стимулируют рост и развитие растений, способствуют прорастанию семян.

Гидрокрекинг — переработка высококипящих нефтяных фракций, мазута или гудрона для получения бензина, дизельного и реактивного топлив, смазочных масел и др. Осуществляется при действии водорода в присутствии катализатора при 330—450 °С и давлении 5—30 Мпа.

Гидросфера (*гидро* и *сфера*) — совокупность всех водных объектов земного шара: океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, подземных вод, ледников и снежного покрова.

Глюоны — гипотетические электрически нейтральные частицы с нулевой массой и спином, равным единице; ими обуславливается взаимодействие между кварками.

Гормоны (греч. *hormao* — возбуждаю, привожу в действие) — биологически активные вещества, вырабатываемые в организме специализированными клетками или органами (железами внутренней секреции) и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность других органов и тканей.

Гравитация (лат. *gravitas* — тяжесть) — тяготение, универсальное взаимодействие между любыми видами физической материи.

Гравитон — квант гравитационного поля, имеющий нулевую массу покоя, нулевые электрический заряд и спин (экспериментально пока не обнаружен).

Графитопласты — пластмассы, содержащие в качестве наполнителя графит.

Гуанин — пуриновое основание, содержащееся в клетках всех организмов в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех «букв» генетического кода.

Д

Детерминизм (лат. *determino* — определяю) — философское учение об объективной закономерности взаимосвязи и причинной обусловленности всех явлений, противопоставит индетерминизму, отрицающему всеобщий характер причинности.

Детонация моторных топлив — чрезмерно быстрое сгорание топливной смеси в цилиндрах карбюраторного двигателя из-за накопления органических пероксидов в топливной смеси.

Деформация (лат. *deformatio* — искажение) — 1) изменение положения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними в результате внешнего воздействия; 2) изменение формы, искажение сущности чего-либо (например, деформация социальной структуры).

Дискретный (лат. *discretus* — раздельный, прерывистый) — прерывистый, состоящий из отдельных частей.

Диссипация (лат. *dissipatio*) — рассеяние; например, диссипация газов земной атмосферы в межпланетное пространство; диссипация энергии — переход части энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии электрического тока и т. д.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном итоге — в тепло.

Диссоциация (лат. *dissociatio* — разъединение) — распад частицы (молекулы, радикала, иона) на несколько более простых частиц.

ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота — высокополимерное природное соединение, содержащееся в ядрах клеток живых организмов. ДНК — носитель генетической информации, ее отдельные участки соответствуют определенным генам.

Доломит — порообразующий минерал класса карбонатов ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$).

Е

Евгеника (греч. *eugenes* — хорошего рода) — теория о наследственном здоровье и путях его улучшения.

Естественный отбор — процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных; следствие борьбы за существование.

Ж

Живое вещество — в концепции В.И. Вернадского — совокупность растений и животных, включая человека.

И

Иерархия (греч. *hieros* — священный и *arche* — власть) — расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему.

Изомеры (*изо* и греч. *meros* — доля, часть) — химические соединения, одинаковые по молярной массе и составу, но различающиеся по строению или расположению атомов в пространстве и, следовательно, по свойствам.

Изостазия (*изо* и греч. *stasios* — равный по весу) — равновесное состояние земной коры и мантии, вызванное действием гравитационных сил, при котором земная кора как бы плавает на более плотном и пластичном подкорковом слое.

Изотопы (*изо* и греч. *topos* — место) — разновидность химических элементов, ядра атомов которых отличаются числом нейтронов, но содержат одинаковое число протонов и поэтому занимают одно и то же место в периодической системе элементов.

Изотропность (*изо* и греч. *tropos* — свойство) — одинаковость свойств объектов (пространства, вещества и др.) по всем направлениям.

Иммунитет (лат. *immunitas* — освобождение, избавление) — способность живых существ противостоять действию повреждающих агентов, сохраняя свою целостность и индивидуальность; защитная реакция организма.

Имплантация (лат. *im* (*in*) — в, внутрь и *plantatio* — сажание) — технологическая операция осаждения молекул, атомов или ионов на поверхности элемента интегральной схемы, детали и т.п.

Инвариант (лат. *invariants* — неизменяющийся) — величина, остающаяся неизменной при тех или иных преобразованиях.

Инвариантность — неизменность какой-либо величины при изменении физических условий или по отношению к некоторым преобразованиям.

Ингибиторы (лат. *inhibeo* — удерживаю) — вещества, снижающие скорость химических, в том числе и ферментативных, реакций или подавляющие их.

Инсектициды (лат. *insectum* — насекомое и *caedere* — убивать) — химические препараты для борьбы с насекомыми — вредителями сельскохозяйственных растений; относятся к группе пестицидов.

Интеграция (лат. *integratio* — восстановление, восполнение, от *integer* — целый) — объединение отдельных частей в целом, а также процесс, ведущий к такому образованию.

Ионизация — превращение атомов и молекул в ионы.

Ионная имплантация — внедрение посторонних (примесных) атомов внутрь твердого тела путем бомбардировки его ионами.

Ионы (греч. *ion* — идущий) — электрически заряженные частицы, образующиеся из атомов (молекул) в результате потери или присоединения одного или нескольких электронов.

К

Канцерогенные вещества (лат. *cancer* — рак и ... *gen*) — химические вещества, воздействие которых на организм при определенных условиях вызывает рак и другие опухоли.

Карбиды — химические соединения углерода с металлами и некоторыми неметаллами, например карбид кальция, карборунд, цементит. Карбиды вольфрама, титана, тантала, ниобия и др. тугоплавки, тверды, износостойки, жаропрочны; входят в состав твердых сплавов, используемых для изготовления резцов, буровых коронок, деталей газовых турбин и реактивных двигателей.

Карбонилы металлов — химические соединения металлов с оксидом углерода CO. Например, карбонилы никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$ и железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ — жидкости, кобальта

$\text{Co}_2(\text{CO})_8$ — твердое вещество; применяются для получения чистых металлов, нанесения металлических покрытий, как катализаторы химических процессов; ядовиты.

Катализ (греч. *katalysis* — разрушение) — ускорение химической реакции в присутствии веществ-катализаторов, которые взаимодействуют с реагентом, но в реакции не расходуются и не входят в состав конечного продукта.

Катастрофа (греч. *katastrophe* — переворот) — внезапное бедствие, событие, влекущее за собой тяжелые последствия.

Кварзы (англ. *quasar*, сокр. от *quasistellar radiosource* — квазизвездные источники излучения) — космические объекты чрезвычайно малых угловых размеров, имеющие значительное красное смещение линий в спектрах, что указывает на их большую удаленность.

Кварки — гипотетические частицы с дробным электрическим зарядом, из которых, возможно, состоят элементарные частицы.

Кибернетика (греч. *kybernetike* — искусство управления) — наука об управлении, связи и переработке информации; основной объект исследования — так называемые кибернетические системы, рассматриваемые абстрактно, вне зависимости от их материальной природы. Примеры кибернетических систем — автоматические регуляторы в технике, ЭВМ, человеческий мозг, биологические популяции, человеческое общество.

Кизерит — минерал класса сульфатов $\text{Mg}[\text{SO}_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$; по происхождению — осадочный; руда магнезия.

Кислотные осадки — атмосферные осадки (дождь, снег), подкисленные (pH ниже 5,6) из-за повышенного содержания в воздухе промышленных выбросов, главным образом SO_2 , NO_2 , HCl и др.

Клон (греч. *klon* — ветвь, отпрыск) — популяция клеток или организмов, происходящих от общего предка путем бесполого размножения; клонирование клеток применяют в генетике соматических клеток, онкологии и др.

Коацервация (лат. *coacervatio* — накопление) — возникновение в растворе капель, обогащенных растворенным веществом; обычно происходит в водных растворах белков и полисахаридов при добавлении электролитов и некоторых органических соединений.

Композиционные материалы (композиты) — материалы, образованные объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними; характеризуются свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов, взятый в отдельности.

Континуум (лат. *continuum* — непрерывное) — в математике: непрерывная совокупность, например, совокупность всех точек отрезка на прямой или всех точек прямой, эквивалентная совокупности всех действительных чисел.

Корпускула (лат. *corpusculum* — частица) — частица в классической (неквантовой) физике.

Коррозия (позднелат. *corrosio* — разъедание) — разрушение твердых тел, вызванное химическими или электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Кортизон — гормон животных и человека, вырабатываемый корой подпочечников; участвует в регуляции обмена белков, жиров и углеводов в организме.

Космохимия — наука, изучающая химический состав космических тел, законы распространения и распределения химических элементов во Вселенной.

Л

Лейкоциты (греч. *leukos* — белый и *kytos* — клетка) — бесцветные клетки крови человека и животных.

Лептоны (греч. *leptos* — легкий) — элементарные частицы со спином $1/2$, не участвующие в сильном взаимодействии.

Липиды (греч. *lipos* — жир) — обширная группа природных органических соединений, включающая жиры и жироподобные вещества.

Литосфера (греч. *lithos* — камень *литос* и *сфера*) — внешняя сфера «твердой» Земли, включающая земную кору и верхнюю часть подстилающей ее мантии.

М

Мантия Земли — оболочка «твердой» Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли.

Масс-спектроскопия — метод исследования вещества путем определения спектра масс частиц, содержащихся в веществе, и их относительного содержания.

МГД-генератор (магнитогидродинамический генератор) — энергетическая установка, в которой энергия электропроводящей среды (обычно низкотемпературной плазмы), движущейся в магнитном поле, непосредственно преобразуется в электрическую энергию.

Мезоны — нестабильные элементарные частицы с нулевым или целым спином, принадлежащие к классу адронов.

Метагалактика — часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследований; содержит несколько млрд галактик.

Метан — бесцветный газ (CH_4); основной компонент природных (97—99 %), попутных нефтяных (31—90 %), рудничного и болотного газов; служит сырьем для получения многих ценных продуктов химической промышленности — формальдегида, ацетилена, сероуглерода и др.; применяется как топливо.

Метанол (метиловый спирт) — древесный спирт (CH_3OH) — бесцветная жидкость со слабым спиртовым запахом; ядовит, действует на нервную и сосудистую системы; служит сырьем в производстве формальдегида, сложных эфиров и других продуктов.

Метафизика (греч. *meta ta physika* — после физики) — философское учение о сверхчувствительных (недоступных опыту) принципах бытия.

Метеориты — малые тела Солнечной системы, падающие на Землю из межпланетного пространства; масса одного из крупнейших метеоритов — *Гоба метеорита* — около 60000 кг; различают железные и каменные метеориты.

Митоз (греч. *mitos* — нить) — способ деления ядерных клеток, обеспечивающий тождественное распределение генетического материала между дочерними клетками и преемственность хромосом в ряду клеточных поколений.

Мониторинг — наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидросферы, почвенно-растительного покрова, а также техногенных систем) с целью ее контроля, прогноза и охраны.

Мутации (лат. *mutatio* — изменение, перемена) — возникающие естественно или вызываемые искусственно изменения наследственных свойств организма в результате перестроек и нарушений в генетическом материале организма — хромосомах и генах; мутации — основа изменчивости в живой природе.

Н

Наследственность — свойство организма повторять в роду поколений сходные типы обмена веществ и индивидуального развития в целом; обеспечивается самовоспроизведением материальных единиц — генов, катализированных в специфических структурах ядра клетки (хромосомах) и цитоплазмы.

Нейрон (греч. *neuron* — нерв) — нервная клетка, состоящая из тела и отходящих от него отростков — относительно коротких дендритов и длинного аксона.

Нейтрино (итал. *neutrino*, уменьшит, от *neutrone* — нейтрон) — стабильная незаряженная элементарная частица со спином 1/2, относящаяся к лептонам.

Нейтронграфия — совокупность методов исследования вещества с помощью рассеяния нейтронов низких энергий; позволяет изучать расположение частиц в конденсированной среде.

Нитинол — сплав титана с никелем (55 % Ti, 45 % Ni), обладающий «эффектом памяти», а также высокой коррозионной и эрозионной стойкостью.

Нитраты — соли и эфиры азотной кислоты HNO_3 .

Нуклеотиды — фосфорные эфиры нуклеозидов; состоят из азотистого основания (пуринового или пиримидинового), углевода и одного или нескольких остатков фосфорной кислоты.

Нуклид — общее название атомных ядер (и атомов), характеризующихся числом нейтронов в ядре, числом протонов и общим числом нуклонов, называемым массовым числом. Радиоактивные ядра и атомы называются *радионуклидами*.

Нуклон (лат. *nucleus* — ядро) — общее название протона и нейтрона, являющихся составными частями атомных ядер.

О

Облучение — воздействие различных излучений (инфракрасного, ультрафиолетового, рентгеновского, радиоактивного и др.) на вещество или биологические объекты с целью лечения (например, ультрафиолетовая, лучевая терапия), случайное (например, при аварии и у лиц, работающих с источником излучения).

Обменное взаимодействие — специфическое взаимное влияние тождественных частиц, эффективно проявляющееся как результат некоторого особого взаимодействия; чисто квантовый эффект, отражающий свойства симметрии системы тождественных частиц относительно перестановки пары таких частиц. Обменное взаимодействие объясняет закономерности атомных и молекулярных спектров, химическую связь, ферромагнетизм и др.

Озон (греч. *ozone* — пахнущий) — аллотропная модификация кислорода (O_3); бесцветный газ с резким запахом, сильный окислитель. Озоновый слой предохраняет живые организмы от вредного воздействия ультрафиолетового излучения; озон используется для обеззараживания воды и воздуха.

Октан — бесцветный жидкий углеводород C_8H_{18} , содержащийся в нефти и в больших количествах в синтетическом жидком топливе; имеет низкую детонационную стойкость.

Октановое число — условная количественная характеристика стойкости к детонации моторных топлив, применяемых в карбюраторных двигателях внутреннего сгорания. Октановое число наиболее распространенных отечественных марок автобензинов 76—89, авиабензинов 91—95.

Онтогенез (греч. *ontos* — сущее и *genesis*) — индивидуальное развитие организма, совокупность преобразований организма от зарождения до конца жизни.

Оптическая связь — связь посредством электромагнитных колебаний оптического диапазона (10^{13} — 10^{15} Гц), обычно с применением лазеров.

Органеллы — «органы» простейших, выполняющие различные функции: двигательные, сократительные, рецепторные, пищеварительные и др.

Органогены (от *organ* и греч. *genos* — рождающий) — главные химические элементы, входящие в состав органических веществ: углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера.

Органоиды (*organ* и греч. *eidos* — вид) — постоянные специализированные структуры в клетках животных и растений; к ним относятся хромосомы, митохондрии и др. Органоиды часто называют *оргanelлами*.

П

Парсек (сокр. от *параллакс* и *секунда*) — единица длины, применяемая в астрономии, равна 3,26 световых года ($3,09 \cdot 10^7$ м).

Пептидная связь — химическая связь ($-\text{CO}-\text{NH}-$), соединяющая аминогруппу одной аминокислоты с карбоксильной группой другой в молекулах пептидов и белков.

Пептиды — органические вещества, состоящие из остатков аминокислот, соединенных пептидной связью; в живых клетках пептиды синтезируются из аминокислот, либо являются продуктами обмена белков.

Пестициды (лат. *pestis* — зараза и *caedo* — убиваю) — химические препараты для борьбы с сорняками (*гербициды*), вредителями (*инсектициды*, *акарициды*, *зооциды* и др.), болезнями (*фунгициды*, *бактерициды* и др.) культурных растений.

Пирит (серный колчедан, железный колчедан) — FeS_2 — самый распространенный минерал класса сульфидов; примеси Cu, Au, Fe, Ni, Co и др.; служит сырьем для получения серной кислоты; руда золота, меди, кобальта.

Пиролиз (греч. *pyr* — огонь и *lysis* — разложение) — разложение химических соединений при нагревании; промышленное значение имеет пиролиз нефтяного сырья, древесины.

Плазмотрон — плазменный генератор — газоразрядное устройство для получения низкотемпературной плазмы ($T \sim 10^4 \text{ K}$); применяется главным образом в технологических целях, например плазменная металлургия, плазменная обработка, плазмохимия.

Плазмохимия — наука, изучающая химические процессы в низкотемпературной плазме и основы плазмохимической технологии; типичные промышленные плазмохимические процессы — синтез ацетилена из природного газа, производство сверхчистых материалов, например пленок кремния, и т. п.

Пластиды (греч. *plastos* — вылепленный) — цитоплазматические органоиды растительных клеток; нередко содержат пигменты, определяющие их окраску.

Пластмассы (пластические массы) — материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения; помимо полимера могут содержать наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и другие компоненты.

Подложка — пластина из диэлектрика монокристалла или металла, на поверхность которой осаждаются тонкопленочные слои из различных материалов.

Полиамиды — синтетические полимеры, содержащие в молекуле амидные группы $-\text{CO}-\text{NH}-$; твердые роговидные или прозрачные стеклообразные вещества.

Повинилхлорид $[-\text{CH}_2\text{CHCl}-]_n$ — синтетический полимер, продукт полимеризации винилхлорида; на основе поливинилхлорида получают жесткие (винипласт) и мягкие (пластикат) пластмассы, пластизоли, волокна.

Полиимиды — синтетические полимеры, содержащие в молекуле имидную группу. Из полиимидных материалов получают пластмассы, пленки, лаки, клеи, волокна, используемые главным образом в авиации и космической технике.

Полимеры (от *поли...* и греч. *meros* — доля, часть) — вещества, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся звеньев; их молекулярная масса может изменяться от нескольких тысяч до многих миллионов. По происхождению полимеры делятся на природные, или биологические (например, белки, нуклеиновые кислоты, натуральный каучук) и синтетические (например, полиэтилен, полиамиды и др.); полимеры — основа пластмасс, химических волокон, резины и т. п.; из биополимеров состоят клетки всех живых организмов; термин «полимеры» введен И. Берцелиусом в 1833 г.

Полинуклеотиды — полимерные органические соединения, образованные остатками мононуклеотидов; природные полинуклеотиды — нуклеиновые кислоты.

Полистирол $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$ — синтетический полимер, продукт полимеризации стирола; твердое стеклообразное вещество; применяется в производстве пенопластов, корпусов радио- и телеаппаратуры, деталей автомобилей и др.

Полиэфиры — синтетические полимеры, содержащие в молекуле простую эфирную или сложноэфирную группу.

Популяция (лат. *populus* — народ, население) — совокупность особей одного вида, населяющая некоторую территорию, относительно изолированная от других и обладающая определенным генофондом; рассматривается как элементарная единица эволюции.

Порошковая металлургия — производство порошков металлов и изделий из них, их смесей и композиций с неметаллами; с помощью порошковой металлургии получают тугоплавкие и твердые пористые, фрикционные и другие материалы.

Постулат (лат. *postulatum* — требование) — 1) утверждение (суждение), принимаемое в рамках какой-либо научной теории за истинное, хотя и недоказуемое ее средствами, и поэтому играющее в ней роль аксиомы; 2) общее наименование для аксиом и правил вывода какого-либо исчисления.

Приматы (лат. *primates* — первенствующие) — высший отряд млекопитающих, включающий два подотряда: полуобезьяны и обезьяны; свыше 200 видов — от лемуров до человека.

Прокариоты (лат. *pro* — вперед, вместе и греч. *koryon* — ядро) — организмы, не обладающие в отличие от эукариот оформленным клеточным ядром (вирусы, бактерии, синезеленые водоросли)

Пропан — бесцветный газ, содержащийся в природном и нефтяном газах; образуется при крекинге нефтепродуктов; применяется, например, для получения пропилена, нитрометана и др. В смеси с бутаном используется как бытовой газ.

Простагландины — группа физиологически активных веществ, гормонов, вырабатываемых в ничтожно малых количествах клетками различных тканей большинства животных и человека.

Протоплазма (греч. *protos* — первый и *plasma* — вылепленное, оформленное) — содержимое живой клетки — ее цитоплазма и ядро; термин почти не встречается в современной научной литературе.

Пульсары (англ. *pulsars* — пульсирующие источники радиоизлучения) — космические источники импульсного электромагнитного излучения, открытые в 1967 г.

Р

Рацемазы — ферменты класса изомераз, катализирующие в живых клетках обратимое превращение стереоизомеров, например аминокислот.

Рациональный (лат. *rationalis* — разумный) — разумный, целесообразный, обоснованный.

Реактопласты (термопластические пластмассы) — пластмассы, переработка которых в изделия сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала; производятся на основе полиэфирных, эпоксидных и других смол; содержит обычно большое количество наполнителей — стекловолокна, сажи, металла и др.

Реголит (лунный грунт) — разнородное обломочно-пылевое вещество, обломки которого состоят из лунных пород и минералов, стекла и других компонентов.

Редукционизм — сведение сложного к простому, составного к элементарному.

Рекомбинация (лат. *re* — обратно, назад, снова и *combinatio* — соединение): 1) рекомбинация ионов и электронов в ионизированных газах и плазме — образование нейтральных атомов и молекул из свободных электронов и положительных атомных или молекулярных ионов (процесс, обратный ионизации); 2) рекомбинация свободных радикалов — образование ковалентной связи путем обобществления двух неспаренных электронов, принадлежащих разным частицам.

Реликтовое излучение — фоновое космическое излучение, спектр которого близок к спектру абсолютно черного тела с температурой 2,7 К; происхождение реликтового излучения связывают с эволюцией Вселенной, которая в прошлом имела очень высокую температуру и плотность излучения (горячая Вселенная).

Рецепторы (лат. *receptor* — принимающий) — окончания чувствительных нервных волокон или специализированные клетки (сетчатки глаза, внутреннего уха и др.), преобразующие раздражения, воспринимаемые извне или из внутренней среды организма, в нервное возбуждение, передаваемое в центральную нервную систему.

РНК (рибонуклеиновая кислота) — высокомолекулярные органические соединения, тип нуклеиновых кислот; образованы нуклеотидами, в которые входит аденин, гуанин, цитозин и урацил, а также сахар рибоза (в ДНК вместо урацила — тимин, вместо рибозы — дезоксирибоза); в клетках всех живых организмов РНК участвуют в реализации генетической информации.

С

Самоорганизация — целенаправленный процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы; свойством самоорганизации обладают объекты различной природы: клетка, организм, биологическая популяция, биогеоценоз, человеческий коллектив и др.

Сверхпроводимость — физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников) при охлаждении их ниже определенной температуры и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и в выталкивании магнитного поля из объема образца; критическая температура высокотемпературных сверхпроводников составляет более 100 К.

Селекция (лат. *selectio* — выбор, отбор) — выведение новых и улучшение существующих сортов растений, пород животных путем применения научных методов отбора.

Синергетика (греч. *synergetikos* — совместный, согласованно действующий) — научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических и др.) благодаря интенсивному (потокосовому) обмену веществами и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях; в таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т.е. уменьшается энтропия (так называемая самоорганизация)

Синтез (греч. *synthesis* — соединение, сочетание) — соединение (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему).

Синтез-газ — газ, состоящий из CO (40—60%) и H_2 (30—50%); получают конверсией природного горючего с водяным паром и кислородом, а также газификацией топлив; служит сырьем в производстве водорода, углеводородов, метилового спирта и др.

Спектроскопия — раздел физики, посвященный изучению спектра электромагнитного излучения.

Спин (англ. *spin* — вращение) — собственный момент импульса микрочастицы, имеющий квантовую природу.

Стеклопластики — пластмассы, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя стеклянное волокно.

Стохастический (греч. *stochastikos* — умеющий угадывать) — случайный, вероятностный.

Странность — квантовое число, характеризующее адроны.

Стратосфера (лат. *stratum* — слой и *сфера*) — слой атмосферы, лежащий над тропосферой от 8—10 км в высоких широтах и от 16—18 км вблизи экватора до 50—55 км; характеризуется повышенным по сравнению с ниже- и вышележащими слоями содержанием озона.

Т

Терпены — природные углеводороды общей формулы $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$; особенно богаты терпенами эфирные масла; к терпенам относятся, например, камфора, ментол и др.

Тимин — пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе ДНК; одна из четырех «букв» генетического кода.

Тритий (лат. *tritium*, от греч. *tritos* — третий) — сверхтяжелый радиоактивный изотоп водорода с массовым числом 3.

У

Унифицировать (лат. *unio* — единство и *facere* — делать) — приводить к единой норме, к единообразию.

Урбанизация (лат. *urbanus* — городской) — процесс сосредоточения промышленности и населения в крупных городах.

Утилизация (лат. *utilis* — полезный) — использование для переработки отходов производства и домашнего хозяйства.

Ф

Фауна (лат. *Fauna* — богиня лесов и полей, покровительница животных в римской мифологии) — исторически сложившаяся совокупность видов животных, обитающих на определенной территории.

Фаянс (франц. *faience* от названия итальянского города *Фаэнца*, где производился фаянс) — керамические изделия (облицовочные плиты, посуда и др.), имеющие плотную мелкопористую структуру, покрытые прозрачной или непрозрачной глазурью.

Фенопласты — пластмассы на основе главным образом фенолформальдегидных смол; используются как коррозионностойкие конструкционные материалы.

Ферменты (лат. *fermentum* — закваска) — биологические катализаторы, присутствующие во всех живых клетках; осуществляют превращение веществ в организме, направляя и регулируя тем самым его обмен веществ; по химической природе — белки.

Феромоны — химические вещества, вырабатываемые экзокринными железами (или специальными клетками) животных, выделяясь во внешнюю среду одними особями, феромоны оказывают влияние на поведение, а иногда на рост и развитие других особей того же вида; феромоны и их химические аналоги применяются в борьбе с насекомыми-вредителями.

Флора (лат. *Flora* — богиня цветов и весеннего цветения в римской мифологии) — исторически сложившаяся совокупность видов растений какой-либо местности или геологического периода.

Флуктуация (лат. *fluctuatio* — колебание) — случайное отклонение физических величин от их средних значений.

Формальдегид (муравьиный альдегид) — бесцветный газ с резким запахом; химическая формула НСНО ; служит сырьем в производстве фенолформальдегидных смол, изопрена и др.

Фосфин (фосфористый водород PH_3) — бесцветный газ с неприятным запахом, сильный восстановитель; самопроизвольно воспламеняется на воздухе, токсичен.

Фотолиз — превращение молекул вещества под действием поглощенного света.

Фотолитография (фото и литография) — фотохимический способ изготовления печатной формы плоского рисунка на металлическом слое, пластине и т.п.

Фунгициды — химические препараты для уничтожения или предупреждения развития патогенных грибов — возбудителей болезней сельскохозяйственных растений.

Х

Хемосорбция — поглощение вещества поверхностью какого-либо тела в результате образования химической связи.

Хиральность — свойство молекулы не совмещаться со своим отображением в идеальном плоском зеркале; является необходимым условием оптической активности молекул.

Хроматография (греч. *chromatos* — цвет и ... *графин*) — метод разделения и анализа смесей, основанный на различном распределении их компонентов между двумя фазами — неподвижной и подвижной.

Хромосомы — структурные элементы ядра клетки, содержащие ДНК, в которой заключена последовательная информация организма; в хромосомах в линейном порядке расположены гены.

Ц

Целлулоид — пластмасса на основе пластифицированного нитрата целлюлозы.

Целлюлоза — полисахарид, образованный остатками глюкозы; используется в производстве бумаги, картона, пластмасс, лаков и др.

Центромера — участок хромосомы, удерживающий вместе две ее нити; во время деления центромера направляет движение хромосом к полюсам клетки.

Цитозин — пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех «букв» генетического кода.

Цитокинины — группа гормонов растений, производные азотистых оснований пурина; повышают скорость деления клеток.

Цитоплазма — внеядерная часть протоплазмы животных и растительных клеток.

Ш

Штамм (нем. *Stamm*) — чистая культура микроорганизмов одного вида.

Э

Эволюция (лат. *evolutio* — развертывание) — одна из форм движения в природе и обществе — непрерывное, постепенное количественное изменение в отличие от революции.

Экосистема (греч. *oikos* — жилище, местопребывание и *система*) — единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания.

Эластомеры — полимеры, обладающие при обычных температурах высокопластичными свойствами; типичные эластомеры — каучук и резина.

Эпитаксия (греч. *epi* и *taxis* — расположение в порядке) — ориентированный рост одного монокристалла на поверхности другого (подложки).

Этан — бесцветный газ, содержащийся в газах нефтепереработки; входит в состав коксового газа; служит сырьем для синтеза винилхлорида, этилового спирта, полиэтилена и др.

Эукариоты (греч. *eu* — хорошо и *karyon* — ядро) — все организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделенное оболочкой от цитоплазмы.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

А

- Авогадро Амедео* (1776—1856), итальянский физик и химик
Агассис Жан Луи (1807—1873), швейцарский естествоиспытатель
Адамс Джон Кауч (1819—1892), английский астроном
Адансон Мишель (1727—1806), французский ботаник
Александр Македонский (356—323 до н.э.), царь Македонии
Александр II (1818—1881), российский император
Александров Павел Сергеевич (1896—1982), российский математик, академик АН СССР, основатель научной школы по топологии
Алексий II (Ридигер Алексей Михайлович) (р. 1929), Патриарх Московский и всея Руси с 1990 г.
Алферов Жорес Иванович (р. 1930), российский физик, лауреат Нобелевской премии (2001)
Ампер Андре Мари (1775—1836), французский ученый, один из основоположников электродинамики
Анаксимандр (ок. 610 после 547 до н.э.), ионический натурфилософ, ученик и последователь Фалеса
Анаксимен из Милета (585—525 до н.э.), древнегреческий натурфилософ
Араго Доминик Франсуа (1786—1853), французский ученый и политический деятель
Аррениус Сванте Август (1859—1927), шведский физико-химик, лауреат Нобелевской премии (1903)
Аристотель (384—322 до н.э.), древнегреческий философ
Армстронг Нил (р. 1930), космонавт США, первый человек, ступивший на Луну 21 июля 1969 г.

Б

- Бардин Джон* (1908—1991), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1956 и 1972)
Беккерель Антуан Анри (1852—1908), французский физик, лауреат Нобелевской премии (1903)
Беккерель Антуан Сезар (1788—1878), французский физик
Бердяев Николай Александрович (1874—1948), русский философ
Бернал Джон Десмонд (1901—1971), английский физик
Бернар Клод (1813—1878), французский физиолог и патолог, один из основоположников экспериментальной медицины и эндокринологии
Бернулли Даниил (1700—1782), швейцарский физик

Берцелиус Йёнс Якоб (1779—1848), шведский химик и минералог
Блохинцев Дмитрий Иванович (1907/08—1979), советский физик, один из руководителей создания первой в мире АЭС
Бойль Роберт (1627—1691), английский химик и физик
Больцман Людвиг (1844—1906), австрийский физик, один из основателей статистической физики и физической кинетики
Бор Нильс Хенрик Давид (1885—1962), датский физик, один из создателей современной физики, лауреат Нобелевской премии (1922)
Борн Макс (1882—1970), немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1954)
Браттейн Уолтер (1902—1987), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1956)
Браун Вернер фон (1912—1977), немецкий конструктор ракет
Браун Герберт (р. 1912), американский химик, лауреат Нобелевской премии (1979)
Браун Карл Фердинанд (1850—1918), немецкий физик, радиотехник, лауреат Нобелевской премии (1909)
Бройль Луи де (1892—1987), французский физик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1929)
Брокхауз Берtram (р. 1918), канадский физик, лауреат Нобелевской премии (1994)
Бруно Джордано (1548—1600), итальянский естествоиспытатель, философ и поэт
Брэгг Уильям Лоренс (1890—1971), английский физик, основоположник рентгеноструктурного анализа, лауреат Нобелевской премии (1915)
Бурцев Всеволод Сергеевич (р. 1927), российский ученый, академик РАН
Бутлеров Александр Михайлович (1828—1886), русский химик-органик
Бэкон Френсис (1561—1626), английский философ, родоначальник английского материализма
Бюффон Жорж Луи Леклерк (1707—1788), французский естествоиспытатель

В

Вавилов Николай Иванович (1887—1943), российский биолог и генетик
Вавилов Сергей Иванович (1891—1951), физик, основатель научной школы физической оптики, академик АН СССР
Вайнберг Стивен (1933—1996), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1979)
Ван-дер-Ваальс Йоханнес Дидерик (1837—1923), нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии (1910)
Василий Великий (Василий Кесарийский, ок. 330—379), церковный деятель, теолог, философ-платоник
Везалий Андреас (1514—1564), естествоиспытатель, основоположник анатомии
Вейсман Август (1834—1914), немецкий зоолог и эволюционист
Вернадский Владимир Иванович (1863—1945), выдающийся российский естествоиспытатель, мыслитель и общественный деятель
Вигнер Юджин Пол (1902—1995), американский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1963)
Вильсон Роберт Вудроу (р. 1936), американский радиоастроном, лауреат Нобелевской премии (1978)
Витрувий (1 в. до н.э.) римский архитектор и инженер
Владимир I (?—1015), князь новгородский (с 969), великий князь киевский (с 980)
Вольтер, Мари Франсуа Аруз (1694—1778), французский писатель и философ-просветитель
Вульф Георг Викторович (1863—1925), русский ученый кристаллограф

Г

Гагарин Юрий Алексеевич (1934—1968), летчик-космонавт СССР, впервые совершил полет в космос 12 апреля 1961г.

Галилей Галилео (1564—1642), итальянский ученый, один из основателей точного естествознания

Галле Иоганн Готфрид (1812—1910), немецкий астроном

Галуа Эварист (1811—1832), французский математик

Гальтон Френсис (1822—1911), английский психолог и антрополог

Гамов Георгий Антонович (1904—1968), американский физик, родился в России

Ган Отто (1879—1968), немецкий радиохимик, лауреат Нобелевской премии (1944)

Гегель Георг Вильгельм Фридрих (1770—1831), немецкий философ, создавший на объективно-идеалистической основе систематическую теорию диалектики

Гёдель Курт (1906—1978), австрийский логик и математик

Гейзенберг Вернер (1901—1976), немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1932)

Гей-Люссак Жозеф Луи (1778—1850), французский химик и физик

Геккель Эрнст (1834—1919), немецкий биолог-эволюционист

Гелл-Ман Марри (р. 1929), американский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1969)

Гельмонт Ян Баптист (1579—1644), голландский естествоиспытатель

Гексли Томас Генри (1825—1895), английский биолог

Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд (1821—1894), немецкий ученый-естествоиспытатель

Гераклит Эфесский (ок. 544—483 до н.э.), древнегреческий философ

Герц Генрих Рудольф (1857—1894), немецкий физик, один из основоположников электродинамики

Герцен Александр Иванович (1812—1870), российский писатель и философ

Гершель Уильям (1738—1822), английский астроном, основоположник звездной астрономии

Гёте Иоганн Вольфганг (1749—1832), немецкий писатель, мыслитель и естествоиспытатель

Гипподам Милетский (5 в. до н.э.), древнегреческий архитектор-градостроитель

Глушко Валентин Петрович (1908—1989), российский ученый, конструктор

Глэшоу Шелдон (р. 1932), американский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1979)

Грэй Л. (1905—1965), английский физик

Гук Роберт (1635—1703), английский естествоиспытатель, разносторонний ученый и экспериментатор

Гукер Джозеф Долтон (1817—1911), английский ботаник

Гумбольдт Вильгельм (1767—1835), немецкий филолог, философ, языковед

Гюго Виктор Мари (1802—1885), французский писатель-романтик

Гюйгенс Христиан (1629—1695), нидерландский ученый

Д

Давыдов Александр Сергеевич (1912—1993), украинский физик, академик АН Украины

Д'Аламбер Жан Лерон (1717—1783), французский математик, механик и философ

Дальтон Джон (1766—1844), английский физик и химик

Дарвин Чарлз Роберт (1809—1882), английский естествоиспытатель, создатель дарвинизма

Дарвин Эразм (1731—1802), английский врач, натуралист и поэт; дед Ч. Дарвина и Ф. Гальтона

Декарт Рене (1596—1650), французский философ, математик, физик и физиолог

Демокрит (р. ок. 470 или 460 до н.э., умер в глубокой старости), древнегреческий философ, один из основателей античной атомистики

Де Фриз Хуго (1848—1935) — нидерландский естествоиспытатель

Джермер Лестер Халберт (1896—1971), американский физик

Дидро Дени (1713—1784), французский философ-просветитель и писатель

Диоген Аполлонийский (499/98—428/27 до н.э.), греческий философ

Дирак Поль Адриен Морис (1902—1984), английский физик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1933)

Доллежал Николай Антонович (1899—2000), российский ученый, академик РАН, главный конструктор первой в мире АЭС

Дэвиссон Клинтон Джозеф (1881—1958), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1937)

Е

Евдокс Книдский (ок. 406—ок. 355 до н.э.), древнегреческий математик и астроном

Евклид (3 в. до н.э.), древнегреческий математик

Емельянов Станислав Васильевич (р. 1929), российский ученый в области автоматического управления, академик РАН

Ж

Жолио-Кюри Ирен (1897—1956), французский физик, лауреат Нобелевской премии (1935)

Жолио-Кюри Фредерик (1900—1958), французский физик, лауреат Нобелевской премии (1935)

Жоффруа Сент-Илер Этьен (1772—1844), французский зоолог, эволюционист

Жуковский Николай Егорович (1847—1921), российский ученый, основоположник современной аэродинамики

Жуковский Василий Андреевич (1783 — 1852), русский поэт и мыслитель

З

Зельдович Яков Борисович (1914—1987), советский физик-теоретик

Зиверт Рольф (1896—1966), шведский физик-радиолог

Зоммерфельд Арнольд (1868—1951), немецкий физик и математик

Зюсс Эдуард (1831—1914), австрийский геолог

И

Иван IV Грозный (1530—1584), первый русский царь

Иваненко Дмитрий Дмитриевич (1904—1994), российский физик-теоретик

Ильюшин Сергей Владимирович (1894—1977), российский авиаконструктор

Инфельд Леопольд (1898—1968), польский физик

Иоффе Абрам Федорович (1880—1960), российский физик, один из создателей отечественной физической школы

К

- Камов Николай Ильич* (1902—1973), российский авиаконструктор
- Кант Иммануил* (1724—1804), немецкий философ, родоначальник немецкой классической философии
- Капица Петр Леонидович* (1894—1984), российский физик, лауреат Нобелевской премии (1978)
- Карамзин Николай Михайлович* (1766—1826), русский историк, писатель
- Кекуле Фридрих Август* (1829—1896), немецкий химик-органик
- Келдыш Мстислав Всеволодович* (1911—1978), российский математик и механик, академик АН СССР, президент АН СССР (1961—1975)
- Кеплер Иоганн* (1571—1630), немецкий астроном, один из творцов астрономии Нового времени
- Кибальчич Николай Иванович* (1853—1881), российский изобретатель
- Киплинг Джозеф Редьярд* (1865—1936), английский писатель
- Клапейрон Бенуа Поль Эмиль* (1799—1864), французский физик и инженер
- Клаузиус Рудольф Юлиус Эмануэль* (1822—1888), немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты
- Ключевский Василий Осипович* (1841—1911), крупный российский историк
- Ковалевский Александр Онуфриевич* (1840—1901), российский биолог
- Колмогоров Андрей Николаевич* (1903—1987), российский математик, академик АН СССР, основатель научных школ по теории вероятностей и теории функций
- Коменский Ян Амос* (1592—1670), чешский мыслитель-гуманист, педагог, писатель
- Комптон Артур Холли* (1892—1962), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1927)
- Конфуций* (Кун-цзы) (ок. 551—479 до н.э.), древнекитайский мыслитель
- Коперник Николай* (1473—1543), польский астроном, создатель гелиоцентрической системы мира
- Корана Хар Гобинд* (р. 1922), американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1968)
- Коржинский Сергей Иванович* (1861—1900), российский ботаник
- Коровин Сергей Константинович* (р. 1945), российский ученый, академик РАН
- Королев Сергей Павлович* (1906/07—1966), российский ученый и конструктор, создатель ракетно-космической техники
- Крашенинников Степан Петрович* (1711—1755), российский путешественник
- Крик Фрэнсис Харри Комптон* (р. 1916), английский биофизик и генетик, лауреат Нобелевской премии (1962)
- Кулон Шарль Огюстен* (1736—1806), французский инженер и физик, один из основателей электростатики
- Курнаков Николай Семенович* (1860—1941), российский физико-химик
- Курчатов Игорь Васильевич* (1902/03—1960), российский физик, организатор и руководитель работ по атомной науке и технике в СССР
- Кювье Жорж* (1769—1832), французский зоолог

Л

- Лавуазье Антуан Лоран* (1743—1794), французский химик, один из основоположников современной химии
- Лайель Чарлз* (1797—1875), английский естествоиспытатель
- Ламарк Жан Батист* (1744—1829), французский естествоиспытатель
- Лаплас Пьер Симон* (1749—1827), французский астроном, математик, физик
- Лауэ Макс фон* (1879—1960), немецкий физик, лауреат Нобелевской премии (1914)
- Лавбедев Петр Николаевич* (1866—1912), российский физик, создатель первой русской научной школы

Лебедев Сергей Васильевич (1874—1934), российский химик, академик АН СССР
Левье́е Урбен Жан Жозеф (1811—1877), французский астроном
Левкипп (5 в. до н.э.), древнегреческий философ, современник и предполагаемый учитель Демокрита
Лейбниц Готвальд Вильгельм (1646—1716), крупнейший немецкий математик, физики философ
Леонардо да Винчи (1452—1519), итальянский живописец, скульптор, архитектор, ученый, инженер
Либих Юстус (1803—1873), немецкий химик, один из создателей агрохимии
Линней Карл (1707—1778), шведский естествоиспытатель, создатель системы растительного и животного мира
Ловелл Персиваль (1855—1916), американский астроном
Логанов Анатолий Алексеевич (р. 1926), российский физик-теоретик, академик РАН
Локк Джон (1632—1704), английский философ, основатель материализма
Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765), первый российский ученый-естествоиспытатель мирового значения
Лоренц Хендрик Антон (1853—1928), нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии (1902)
Лосев Олег Владимирович (1903—1942), российский радиофизик
Луcretий Кар (ок. 96 до н.э. — 55), римский философ и поэт
Лысенко Трофим Денисович (1898—1976), агроном, создатель псевдонаучного учения в биологии

М

Майер Юлиус Роберт (1814—1878), немецкий естествоиспытатель, врач
Майтнер Лизе (1878—1968), австрийский физик
Макмиллан Эдвин Маттисон (1907—1991), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1951)
Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879), английский физик, создатель классической электродинамики, один из основоположников статистической физики
Мальтус Томас Роберт (1766—1834), английский экономист
Мандельштам Осип Эмилевич (1891—1938), русский поэт
Мариотт Эдм (1620—1684), французский физик
Маслов Виктор Павлович (р. 1930), российский математик, академик РАН
Меллер Герман Джозеф (1890—1967), американский генетик
Менделеев Дмитрий Иванович (1834—1907), российский химик, педагог
Мендель Грегор Иоганн (1822—1884), австрийский естествоиспытатель, монах, основоположник учения о наследственности
Мережковский Константин Сергеевич (1855—1921), российский биолог
Мечников Илья Ильич (1845—1916), выдающийся российский физиолог, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине (1908)
Мещерский Иван Васильевич (1859—1935), российский ученый
Мигдал Аркадий Бейнусович (1911—1991), российский физик-теоретик
Миль Михаил Леонтьевич (1909—1970), российский авиаконструктор
Монтень Мишель де (1533—1592), французский философ-гуманист
Морган Томас Хант (1866—1945), американский биолог, один из основоположников генетики
Мотт Невилл (1905—1996), английский физик, лауреат Нобелевской премии (1977)

Н

Нейман Джон (1903—1957), американский математик и физик
Нерон (37—68), римский император
Нернст Вальтер (1864—1941), немецкий физико-химик
Нётер Эмми (1882—1935), немецкий математик
Ниренберг Маршалл Уоррен (р. 1927), американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1968)
Ньютон Исаак (1643—1727), английский математик, астроном и физик, создатель классической механики

О

Оккам Уильям (ок. 1285—1349), английский философ-схоласт, логик
Олдрин Эдвин (р. 1930), космонавт США
Опарин Александр Иванович (1894—1980), российский биохимик, академик АН СССР
Осипов Юрий Сергеевич (р. 1936), российский математик и механик, академик РАН, президент РАН (с 1991 г.)

П

Павлов Иван Петрович (1849—1936), выдающийся российский физиолог, лауреат Нобелевской премии (1904), создатель учения о высшей нервной деятельности
Паскаль Блез (1623—1662), французский математик, физик, философ
Пастер Луи (1822—1895), французский ученый, основоположник современной микробиологии и иммунологии
Паули Вольфганг (1900—1958), швейцарский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1945)
Пензиас Арно Аллан (р. 1933), американский радиофизик и астрофизик, лауреат Нобелевской премии (1978)
Перрен Жан Батист (1870—1942), французский физик, лауреат Нобелевской премии (1926)
Петр I Великий (1672—1725), российский царь с 1682 г., первый российский император (с 1721 г.)
Петровский Иван Георгиевич (1901—1973), российский математик, академик АН ССР
Пилюгин Николай Алексеевич (1908—1982), российский ученый
Писарев Дмитрий Иванович (1840—1868), русский публицист, литературный критик
Питирим (Константин Владимирович Нечаев) (р. 1926), митрополит Волоколамский и Юрьевский, викарий Московской епархии
Пифагор Самосский (6 в. до н.э.), древнегреческий философ, математик
Планк Макс (1858—1947), немецкий физик, один из основоположников квантовой теории, лауреат Нобелевской премии (1918)
Платон (428/427—348/347 до н.э.), древнегреческий философ
Попов Александр Степанович (1859—1905/06), российский физик и электротехник, создатель первого радиоприемника (1895)
Пригожин Илья Романович (1917—2003), бельгийский физик и физико-химик, один из основоположников термодинамики неравновесных процессов
Пристли Джозеф (1733—1804), английский химик
Протагор из Абдер (ок. 480—410 до н.э.), древнегреческий философ
Птолемей Клавдий (ок. 90—ок. 160), древнегреческий ученый
Пуанкаре Жюль Анри (1854—1912), французский математик, физик, философ
Пуассон Симеон Дени (1781—1840), французский математик, механик и физик

Р

Раби Изидор Айзек (1898—1988), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1944)

Раушенбах Борис Викторович (1915—2001), российский ученый, академик РАН
Резерфорд Эрнест (1871—1937), английский физик, один из создателей учения о радиоактивности и строения атома, лауреат Нобелевской премии (1908)

Рейнуотер Джеймс (р. 1917), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1975)
Рентген Вильгельм Конрад (1845—1923), немецкий физик, лауреат Нобелевской премии (1901)

Руссо Жан Жак (1712—1778), французский писатель и философ

С

Савин Геннадий Иванович (р. 1948), российский ученый, академик РАН
Сапам Абдус (р. 1926), пакистанский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1979)

Салтыков (Салтыков-Щедрин) Михаил Евграфович (1826—1889), русский писатель и публицист

Самарский Александр Андреевич (р. 1919), российский математик, академик РАН
Самнер Джеймс Бетчеллер (1887—1955), американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1946)

Сахаров Андрей Дмитриевич (1921—1989), российский физик-теоретик
Семенов Николай Николаевич (1896—1966), российский ученый, основоположник химической физики, лауреат Нобелевской премии (1956)

Сенека Луций Анней (ок. 4 до н.э. — 65 н.э.), римский политический деятель, философ и писатель, представитель стоицизма

Сеченов Иван Михайлович (1829—1905), российский физиолог, создатель физиологической школы

Сноу Чарлз Перси (1905—1980), английский писатель
Содди Фредерик (1877—1956), английский радиохимик; экспериментально доказал образование радия из урана; лауреат Нобелевской премии (1921)

Сократ (ок. 470—399 до н.э.), древнегреческий философ
Спенсер Герберт (1820—1903), английский философ и социолог
Спиноза Бенедикт (1632—1677), нидерландский философ

Столетов Александр Григорьевич (1839—1896), российский физик, создатель физической лаборатории в Московском университете

Т

Тамм Игорь Евгеньевич (1895—1971), российский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1958)

Телезио Бернардино (1509—1588), итальянский натурфилософ эпохи Возрождения

Телесин Роман Владимирович (1905—1985), российский физик-магнитолог

Телешов Николай Афанасьевич (1828—1895), российский конструктор

Тимирязев Климент Аркадьевич (1843—1920), естествоиспытатель, один из основоположников русской школы физиологов растений

Тихонов Андрей Николаевич (1906—1993), российский математик, академик РАН

Тихонравов Михаил Клавдиевич (1900—1974), российский конструктор

Томсон Джозеф Джон (1856—1940), английский физик, лауреат Нобелевской премии (1906)

Туполев Андрей Николаевич (1888—1972), российский авиаконструктор

Тютчев Федор Иванович (1803—1873), русский поэт

У

Уатт Джеймс (1736—1819), английский изобретатель, создатель универсального теплового двигателя

Уоллесс Альфред Рассел (1823—1913), английский естествоиспытатель

Уотсон Джеймс Дьюи (р. 1928), американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1962)

Уткин Владимир Федорович (1923—2000), российский ученый, академик РАН

Ф

Фалес из Милета (ок. 625 — ок. 547 до н.э.), древнегреческий философ, политический деятель

Фарадей Майкл (1791—1867), английский физик, основоположник учения об электромагнитном поле

Фаулер Уильям Алфред (1911—1995), американский физик и астрофизик, лауреат Нобелевской премии (1983)

Федоров Евграф Степанович (1853—1919), российский ученый, один из основоположников современной структурной кристаллографии

Ферми Энрико (1901—1954), итальянский физик, один из создателей ядерной и нейтронной физики, лауреат Нобелевской премии (1938)

Флёрв Георгий Николаевич (1913—1990), российский физик-теоретик

Франк Джеймс (1882—1964), немецкий физик, лауреат Нобелевской премии (1925)

Френель Огюстен Жан (1788—1827), французский физик, один из основоположников волновой оптики

Фридман Александрович (1888—1925), российский математик и геофизик

Фриш Отто (1904—1979), английский физик

Фуко Жан Бернар Леон (1819—1868), французский физик

Х

Хаббл Эдвин Пауэлл (1889—1953), американский астроном

Харитон Юлий Борисович (1904—1996), российский физик, один из создателей ядерного оружия, академик РАН

Хойл Фред (1915), английский астрофизик

Холдейн Берден Сандерсон (1892—1964), английский биолог

Холл Эдвин Герберт (1855—1938), американский физик

Холли Роберт Уильям (р. 1922), американский биохимик, лауреат Нобелевской премии (1968)

Ц

Цвет Михаил Семенович (1872—1919), российский физиолог и биохимик растений

Циолковский Константин Эдуардович (1857—1935), российский ученый и изобретатель, основоположник современной космонавтики

Цицерон Марк Туллий (106—43 до н.э.), римский политический деятель, оратор и писатель

Чаплыгин Сергей Алексеевич (1869—1942), российский ученый, один из основоположников аэродинамики

Чедвик Джеймс (1891—1974), английский физик, лауреат Нобелевской премии (1925)

Черенков Павел Алексеевич (1904—1990), российский физик, академик АН СССР, лауреат Нобелевской премии (1958)

Чехов Антон Павлович (1860—1904), русский писатель

Ш

Шалл Клифорд (р. 1915), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1994)

Шванн Теодор (1810—1882), немецкий биолог, основоположник клеточной теории

Шеллинг Фридрих Вильгельм Йозеф (1775—1854), немецкий философ

Шлейден Маттиас Якоб (1804—1881), немецкий ботаник

Шмидт Отто Юльевич (1891—1956), российский ученый, один из организаторов освоения Северного морского пути

Шокли Уильям Брэдфорд (1910—1989), американский физик, лауреат Нобелевской премии (1956)

Шопенгауэр Артур (1788—1860), немецкий философ, представитель волонтаризма

Шоттки Вальтер (1886—1976), немецкий физик

Шредингер Эрвин (1887—1961), австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии (1933)

Штрассман Фриц (1902—1980), немецкий физик и химик

Эйлер Леонард (1707—1783), крупнейший математик, физик и астроном; по происхождению швейцарец; в 1726 г. был приглашен в Петербургскую академию наук и переехал в 1727 г. в Россию

Эйнштейн Альберт (1879—1955), физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии (1921)

Эпикур (341—270 до н.э.), древнегреческий философ, материалист

Эрстед Ханс Кристиан (1777—1851), датский физик, открыл (1820) магнитное действие электрического тока

Ю

Юнг Томас (1773—1829), английский ученый, один из основоположников волновой теории света

Я

Яковлев Александр Сергеевич (1906—1989), российский авиаконструктор

Яковлев Николай Иванович (р. 1938), российский ученый, разработчик высокочувствительных приборов