

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»

М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебник

Издание шестое,
переработанное и дополненное

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

Москва, 2007

УДК 001
ББК 20
Г96

Рецензенты:

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

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

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

Г. К. Сафаралиев — заместитель председателя комитета по науке и образованию Государственной Думы РФ, доктор физико-математических наук, профессор ДГУ.

Г96

Гусейханов М. К., Раджабов О. Р. Концепции современного естествознания: Учебник. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2007. — 540 с.

ISBN 978-5-91131-306-7

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

Учебник подготовлен в соответствии с Государственным стандартом высшего профессионального образования и предназначен для студентов вузов, изучающих концепции современного естествознания, преподавателей, аспирантов и учащейся молодежи, интересующейся мировоззренческими и теоретико-познавательными проблемами естествознания и философии.

УДК 001
ББК 20

ISBN 978-5-91131-306-7

© М. К. Гусейханов, О.
Р. Раджабов, 2006

OCR: Ихтик (г.Уфа)
ihtik.lib.ru

Содержание

Введение.....	9
Глава 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ЕДИНАЯ НАУКА О ПРИРОДЕ	13
1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры.	13
1.2. Место науки в системе культуры и ее структура	14
1.3. Характерные черты науки	18
1.4. Естествознание — фундаментальная наука	21
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННО НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ	26
2.1. Структура научного познания	26
2.2. Основные методы научного исследования	29
2.3. Динамика развития науки. Принцип соответствия.....	36
Глава 3. ВАЖНЕЙШИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	41
3.1. Система мира античных философов	41
3.2. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы строения мира	49
3.3. Механистическая и электромагнитная картины мира	55
3.4. Современная естественно-научная картина мира.....	60
Глава 4. КОНЦЕПЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ	69
4.1. Понятие пространства и времени.....	69
4.2. Измерение времени	73

4.3. Пространство и время в специальной теории относительности	76
4.4. Общая теория относительности о пространстве и времени.....	86
Глава 5. СТРОЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА.....	94
5.1. Структурное строение материального мира	94
5.2. Краткая характеристика микромира	95
5.3. Краткая характеристика макромира	100
5.4. Краткая характеристика мегамира	106
Глава 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДВИЖЕНИЕ СТРУКТУР МИРА	113
6.1. Четыре вида взаимодействий и их характеристика	113
6.2. Концепции близкодействия и дальнодействия	116
6.3. Вещество, поле, вакуум. Принцип суперпозиции	117
6.4. Фундаментальные постоянные мироздания	119
6.5. Антропный космологический принцип.....	123
6.6. Характер движения структур мира.....	126
Глава 7. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОМИРА	133
7.1. Элементарные частицы.....	133
7.2. Корпускулярно-волновая природа микрообъектов	142
7.3. Концепция дополнительности	148
7.4. Вероятностный характер законов микромира. Концепции неопределенности и причинности	150
7.5. Электронная оболочка атома	153
Глава 8. КОНЦЕПЦИИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ.....	162
8.1. Многообразие форм материи.....	162

8.2. Вещество и его состояния	164
8.3. Энергия и ее проявления в природе.....	167
8.4. Законы сохранения в природе.....	182
8.5. Законы сохранения и принципы симметрии	189
Глава 9. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ	197
9.1. Концептуальные уровни в познании веществ.....	197
9.2. Состав вещества и химические системы	201
9.3. Структура вещества и его свойства	209
9.4. Химические процессы	213
9.5. Эволюция химических систем и перспективы химии	217
Глава 10. ПРИРОДА МЕГАМИРА	222
10.1. Расстояния и размеры в мегамире	222
10.2. Земля как планета и природное тело	230
10.3. Состав и строение Солнечной системы.....	243
10.4. Солнце, звезды и межзвездная среда.....	253
10.5. Галактики.....	259
Глава 11. ХАРАКТЕР ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИРОДЫ	269
11.1. Детерминизм процессов природы.....	269
11.2. Термодинамика и концепция необратимости	273
11.3. Проблема "тепловой смерти Вселенной"	279
Глава 12. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ.....	286
12.1. Большой взрыв и расширяющаяся Вселенная	286
12.2. Начальная стадия Вселенной	292
12.3. Космологические модели Вселенной	297

Глава 13. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ, ЗЕМЛИ	301
13.1. Происхождение и эволюция галактик и звезд	301
13.2. Происхождение планет Солнечной системы	307
13.3. Происхождение и эволюция Земли	317
13.4. Космос и Земля	330
Глава 14. КОНЦЕПЦИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ..	343
14.1. Концепции происхождения жизни на Земле	343
14.2. Классификация уровней биологических структур и организация живых систем.....	357
14.3. Генная инженерия и биотехнология.....	363
14.4. Проблемы происхождения жизни во Вселенной.....	367
Глава 15. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ	374
15.1. Доказательства эволюции живого	374
15.2. Пути и причины эволюции живого	378
15.3. Эволюционная теория Дарвина	381
15.4. Современная теория органической эволюции	384
15.5. Синтетическая теория эволюции	387
15.6. Другие концепции эволюции живого.....	389
Глава 16. КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА.....	397
16.1. Человек как предмет естественно-научного познания...	397
16.2. Сходства и отличия человека от животных	399
16.3. Концепции появления человека на Земле. Антропология.....	402
16.4. Эволюция культуры человека. Социобиология.....	410
16.5. Проблемы поиска внеземных цивилизаций.....	415
16.6. Проблема связи с внеземными цивилизациями	420

Глава 17. ЧЕЛОВЕК	425
17.1. Физиология человека	425
17.2. Эмоции и творчество	432
17.3. Здоровье и работоспособность.....	435
17.4. Вопросы биомедицинской этики	440
Глава 18. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ	448
18.1. Биосфера.....	448
18.2. Экология	453
18.3. Современные проблемы экологии	456
18.4. Ноосфера..... ,	460
18.5. Демографическая проблема	467
Глава 19. МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.....	474
19.1. Системный метод исследования	474
19.2. Кибернетика — наука о сложных системах.....	479
19.3. Методы математического моделирования	481
19.4. Математическое моделирование в экологии	484
Глава 20. САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПРИРОДЕ	491
20.1. Парадигма самоорганизации	491
20.2. Синергетика.....	493
20.3. Особенности эволюции неравновесных систем	495
20.4. Самоорганизация — источник и основа эволюции.....	498
20.5. Самоорганизация в различных видах эволюции	503
Глава 21. СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И БУДУЩЕЕ НАУКИ	508
21.1. Особенности современного этапа развития науки	508
21.2. Естествознание и мировоззрение.....	511

21.3. Естествознание и философия.....	514
21.4. Естествознание и научно-техническая революция	516
21.5. Общие закономерности современного естествознания	524
21.6. Современная естественно-научная картина мира и Человек	526
21.7. Особенности в развитии современной науки	529
Литература.....	535

*Светлой памяти наших родителей и
учителей посвящаем эту книгу*

Введение

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

Ибн Сина (Авиценна)

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

Для изучения предлагаются те направления и проблемы, которые определяют облик современного естествознания и научный подход к культуре. Одной из задач курса является формирование представлений о картине мира как основе целостности и многообразия природы. Поэтому в программу введены важнейшие концепции современного естествознания: представления о пространстве, времени и материи; законы сохранения в мире; концепции происхождения и эволюции Вселенной, жизни и человека; биосфера и экология; специфика самоорганизации, системных методов исследования и др.

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

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

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

Идея о Вселенной как едином целом, законы функционирования которого доступны человеческому познанию и пониманию, сыграли и продолжают играть конструктивную роль в формировании научной картины мира. Действительно, именно эта идея краеугольным камнем лежит в мировоззренческом и методологическом основании современной науки. "Основой

всей нашей научной работы", "сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования" назвал Эйнштейн убеждение в рациональном (законообразном) устройстве Вселенной. "Без веры во внутреннюю гармонию нашего мира, — подчеркивал он, — не могло бы быть никакой науки".

Становление современной естественно-научной картины мира являет собой историческую, революционную или эволюционную смену одних научных взглядов другими.

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

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

Таким образом, Вселенная предстает перед нами как бесконечно разветвляющийся во времени и пространстве процесс эволюции материи. В этом процессе взаимосвязанными оказываются самые разнообразные объекты и явления микромира и мегамира. Выяснилось, что во все эпохи научная мысль харак-

теризовала с дополнительностью макроскопического и микроскопического аспектов.

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

Данная дисциплина не представляет собой механическое соединение традиционных курсов физики, химии, биологии, экологии и других, а является продуктом междисциплинарного синтеза на основе комплексного историко-философского, культурологического и эволюционно-синергетического подходов к современному естествознанию, поэтому ее эффективное освоение возможно на основе применения новой парадигмы, способной объединить естественно-научный и гуманитарный компоненты культуры, и осознания универсальной роли метаязыка, синтезирующего фундаментальные законы естествознания, философии и синергетики.

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

Глава 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ЕДИНАЯ НАУКА О ПРИРОДЕ

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

А. Эйнштейн

1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры

Наука является важнейшим элементом духовной культуры людей. Традиционно принято разделять всю имеющуюся научную информацию на два больших раздела — на естественно-научную, в которой объединяют знания об окружающей природе, и на гуманитарную (от лат. *humanitas* — человеческая природа), в которую включают знания о человеке, обществе и духовной жизни людей. Для естественных наук предметом исследования являются объекты, вещи природы, в сфере гуманитарных наук предметом исследований являются события, субъекты.

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

Методы исследований в естествознании исторически сформировались раньше, чем в гуманитарных науках. В истории

научных познаний неоднократно делались попытки перенести естественно-научные методы целиком и полностью, без учета соответствующей специфики, в гуманитарные науки. Такие попытки не могли не встретить сопротивления и критики со стороны гуманитариев, изучавших явления социальной жизни и духовной культуры. Зачастую такое сопротивление сопровождалось полным отрицанием естественно-научных методов познания для исследования социально-культурных и гуманитарных процессов.

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

Таким образом, изучение основных концепций современного естествознания студентами гуманитарных и социально-экономических специальностей представляется необходимым как для применения естественнонаучных методов в своей деятельности гуманитариями, так и для того, чтобы иметь четкое представление о научной картине мира, выработанное современным естествознанием.

1.2. Месте науки в системе культуры и ее структура

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

В историческом процессе определенный уровень развития общества и человека, его познавательные и творческие способ-

ности, а также его воздействие и взаимоотношение с окружающей природой определяется состоянием их культуры. В переводе с латинского культура (*culture.*) означает возделывание, воспитание, образование, развитие. В широком смысле слова культура — это все, что в отличие от данного природой создано человеком. Наука является одной из отраслей или разделов культуры (рис. 1.1). Если в древности важное место в системе культуры занимала мистика, в античности — мифология, в Средневековье — религия, то можно утверждать, что в современном обществе доминирует влияние науки.



Рис 1.1. Разделы культуры

Наука отличается от других форм общественного сознания и культуры следующим:

- от мифологии тем, что стремится не к объяснению мира в целом, а формулирует законы развития природы. Миф возникает на разных этапах истории развития человечества, как повествование, сказание, фантастические образы которого (боги, легендарные герои, события и т. п.) были попыткой обобщить и объяснить различные явления природы и общества. Достаточно вспомнить мифических богов и героев у древних греков, чтобы

представить содержание мифологии (Зевс — громовержец, Посейдон — бог морей, Афина — покровительница наук, Афродита — богиня любви и т. д.);

- от **мистики** тем, что стремится не к слиянию с объектом исследования, а к его теоретическому пониманию. Мистика же возникла как элемент тайных образов религиозных обществ Древнего Востока и Запада. Главное в этих образах — это общение человека с богом или каким-либо другим таинственным существом. Подобное общение, согласно мистике, достигается якобы через озарение, экстаз, откровение и т. д.;

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

- от **философии** тем, что ее выводы допускают эмпирическую проверку;

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

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

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

Наука — это сфера человеческой деятельности, представляющая собой рациональный способ познания мира, в которой

вырабатываются и теоретически систематизируются знания о действительности, основанные на эмпирической проверке и математическом доказательстве.

Как многофункциональное явление наука представляет собой: 1) отрасль культуры; 2) способ познания мира; 3) определенную систему организованности (академии, университеты, вузы, институты, лаборатории, научные общества и издания).

Существует определенная внутренняя структура и классификация современных наук (рис. 1.2).

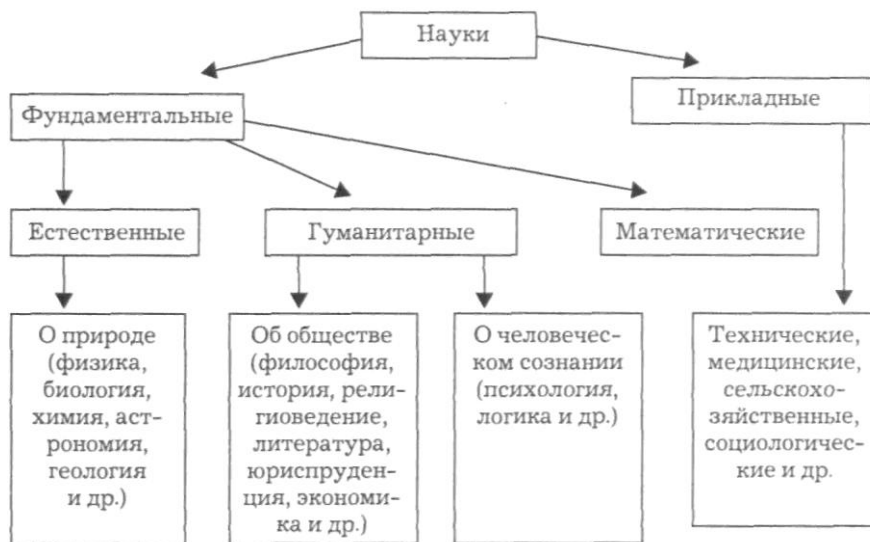


Рис. 1.2. Классификация наук

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

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

Непосредственной целью прикладных наук является применение результатов фундаментальных наук для решения не только познавательных, но и социально-практических проблем. Так, современный этап научно-технического прогресса связан с развитием авангардных исследований прикладных наук: микроэлектроники, робототехники, информатики, биотехнологии, генетики и др. Эти направления, сохраняя свою прикладную направленность, приобретают фундаментальный характер.

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

1.3. Характерные черты науки

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

А. П. Чехов

Не всякие знания могут быть научными. В человеческом сознании содержатся такие знания, которые не входят в систему науки и которые проявляются на уровне обыденного сознания.

Чтобы знания стали научными, они должны обладать по крайней мере следующими специфическими признаками (чертами): системностью, достоверностью, критичностью, общезначимостью, преемственностью, прогнозируемостью, детерминированностью, фрагментарностью, чувственностью, незавершенностью, рациональностью, внеморальностью, абсолютностью и относительностью, обезличенностью, универсальностью.

Рассмотрим некоторые из этих признаков.

Системность. Знания должны носить системный характер на основе определенных теоретических положений и принципов. К числу важнейших задач системности относятся: 1) разработка средств представления исследуемых объектов как систем; 2) построение обобщенных моделей системы; 3) исследование структуры теорий систем и различных системных концепций и разработок. В системном исследовании анализируемый объект рассматривается как определенное множество элементов, взаимосвязь которых обуславливает целостное свойство этого множества.

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

Критичность. Возможность определить на основании критического рассмотрения рациональных моделей историко-культурологические и естественно-научные знания на основе сопоставления различных типов научных теорий. При этом наука всегда готова поставить под сомнение и пересмотреть свои, даже самые основополагающие результаты.

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

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

Прогнозируемость. Знания должны содержать в себе возможность предвидения грядущих событий в определенной области действительности. В социальной сфере прогнозирование

составляет одну из научных основ социального управления (целеполагания, предвидения, программирования управленческих решений).

Детерминированность. Факты эмпирического характера должны быть не только описаны, но и причинно-объяснены и обусловлены, т. е. раскрыты причины изучаемых объектов действительности. В действительности же принцип детерминизма как утверждение о существовании объективных закономерностей представляет собой только предпосылку научного предвидения (но не тождественен ему). Принцип детерминизма формулировался не только как утверждение о возможности предвидения, но и как общий принцип, обосновывающий практическую и познавательную деятельность, раскрывающий объективный характер последней.

Фрагментарность. Наука изучает мир не в целом, а через различные фрагменты реальности, и сама делится на отдельные дисциплины.

Чувственность. Научные результаты требуют эмпирической проверки с использованием ощущения, восприятия, представления и воображения.

Незавершенность. Хотя научное знание безгранично растет, оно все-таки не может достичь абсолютной истины.

Рациональность. Наука получает знания на основе рациональных процедур и законов логики.

Внеморальность. Научные истины нейтральны и общечеловечны в морально-этическом плане.

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

Универсальность. Наука сообщает знания, истинные для всего окружающего мира.

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

1.4. Естествознание - фундаментальная наука

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

А. С. Пушкин

Естествознание — это совокупность наук о природе, которые изучают мир в его естественном состоянии. Это обширная область человеческих знаний о природе: разнообразных природных объектах, явлениях и закономерностях их существования и развития. Целью естествознания является познание законов природы и поиск путей их разумного практического использования. Область познания природы естественными науками неисчерпаема. Естествознание исследует бесконечное множество объектов — с субъядерного уровня (микромир элементарных частиц и вакуума) структурной организации материального мира до галактик, мегамиров и Вселенной. Одни науки естествознания, такие как физика, химия, астрономия и др., исследуют неорганическую природу, а другие, например биологические науки, изучают живую природу. Современная биология является самой разветвленной наукой. К ней относятся: ботаника, зоология, морфология, цитология, гистология, анатомия и физиология, микробиология, эмбриология, экология, генетика и т. д. Многообразие и дифференциация биологических наук объясняются сложностью самой живой природы.

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

Естествознание представляет собой одну из основных форм человеческого знания, а именно о природе. Таких форм знания три: о природе, обществе и человеческом мышлении. Естествознание представляет теоретическую основу промышленной и сельскохозяйственной техники и медицины. Оно является также основой диалектики и философского материализма. Диалектика природы немыслима без естествознания (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Субординация законов науки

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

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

развития материализма в зависимости от естественно-научных открытий.

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

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

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

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

Концепциями современного естествознания являются основные закономерности рациональных связей окружающего мира, полученные естественными науками за последнее столетие.

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

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

ВЫВОДЫ

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

2. Естествознанием называют раздел науки, который изучает мир в его естественном состоянии независимо от человека.

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

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

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

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

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

Вопросы для контроля знаний

1. Что понимается под концепциями современного естествознания?

2. Что такое наука? Каковы ее основные черты и отличия от других отраслей культуры?
3. Что такое естествознание и каковы его отличия от других циклов наук?
4. Охарактеризуйте классификацию естественных наук.
5. Чем отличается естественно-научная культура от гуманитарной?
6. Совместимы ли наука и религия? Что такое верующий ученый?
7. Наука: благо или зло?
8. Назовите основные достижения современного естествознания.
9. Почему в культуре XX в. столь большое место занимает космическая мифология (инопланетяне, НЛО и т. д.)?
10. На основании каких признаков астрологию можно отнести к науке? Почему она все-таки не может претендовать на статус научного знания?

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

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

У. Чэнинг

2.1. Структура научного познания

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

Главным в **эмпирическом** направлении исследования в некоторых областях естествознания является наблюдение. **Наблюдение** — это длительное, целенаправленное и планомерное восприятие предметов и явлений объективного мира. Следующей структурой эмпирического направления познания является научный эксперимент. **Эксперимент** — это научно поставленный опыт, с помощью которого объект или воспроизводится искусственно, или ставится в точно учитываемые условия. Отличительной особенностью научного эксперимента является то, что его способен воспроизвести каждый исследователь в любое время. Найти аналогии в различиях — необходимый этап научного исследования. Эксперимент может быть проведен на



Рис. 2.1. Структура естественно-научного познания

моделях, т. е. на телах, размеры и масса которых пропорционально изменены по сравнению с реальными телами. Результаты модельных экспериментов можно считать пропорциональными результатам взаимодействия реальных тел. Возможно проведение мысленного эксперимента, т. е. представить себе тела, которых вообще не существует в реальности, и провести над ними эксперимент в уме. В современной науке надо проводить и идеализированные эксперименты, т. е. мысленные эксперименты с применением идеализаций. На основании эмпирических исследований могут быть сделаны **эмпирические обобщения**.

На **теоретическом** уровне познания помимо эмпирических фактов требуются понятия, которые создаются заново или берутся из других разделов науки. **Понятие** есть мысль, отражающая предметы и явления в их общих и существенных чертах, свойствах сокращенно, концентрированно (например, материя, движение, масса, скорость, энергия, растение, животное, человек и др.).

Важным способом теоретического уровня исследования является выдвижение гипотез. **Гипотеза** — это особого рода научное предположение о непосредственно наблюдаемых или вообще неизвестных формах связи явлений или причинах, производящих эти явления. Гипотеза как предположение выдвигается для объяснения фактов, которые не укладываются в имеющиеся законы и теории. Она выражает прежде всего процесс становления знания, в теории же в большей степени фиксируется достигнутый этап в развитии науки. При выдвижении какой-либо гипотезы принимается во внимание не только ее соответствие эмпирическим данным, но и некоторые методологические принципы, получившие название критериев простоты, красоты, экономии мышления и т. п. После выдвижения определенной гипотезы исследование опять возвращается на эмпирический уровень для ее проверки. Цель — проверка следствий из этой гипотезы, о которых ничего не было известно до ее выдвижения. Если гипотеза выдерживает эмпирическую проверку, то она приобретает статус закона природы, если нет — считается отвергнутой.

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

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

тельности, отражающих периодически повторяющиеся факты действительности.

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

2.2. Основные методы научного исследования

*Наука начинается с тех пор, как
начинают измерять. Точная наука. Д.
И. Менделеев*

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

Структура научного исследования, описанная нами, представляет собой в широком смысле способ научного познания или **научный метод** как таковой. **Метод** — это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Метод не только уравнивает способности людей, но также делает их деятельность единообразной, что является предпосылкой для получения единообразных результатов всеми исследователями. Выделяются **эмпирические** и **теоретические** методы (табл. 2.1). К **эмпирическим** методам относятся:

Наблюдение — это длительное, целенаправленное и планомерное восприятие предметов и явлений объективного мира. Можно выделить два вида наблюдения — непосредственное и с

Таблица 2.1

Структура научного исследования

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

помощью приборов. При осуществлении наблюдения с помощью соответствующих приборов в микромире требуется обязательный учет свойств самого прибора, его рабочей части, характера взаимодействия с микрообъектом.

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

Измерение представляет собой познавательную операцию, обеспечивающую численное выражение измеряемых величин. Оно осуществляется на эмпирическом уровне научного исследования и включает количественные эталоны и стандарты (вес, длина, координаты, скорость и т. д.). Измерение осуществляется субъектом как непосредственно, так и опосредованно. В связи с этим оно делится на два вида: прямое и косвенное. Прямое измерение представляет собой непосредственное сравнение измеряемого объекта или явления, свойства с соответствующим эталоном; косвенное определение величины измеряемого свойства на основе учета определенной зависимости от других

величин. Косвенное измерение помогает производить определение величин в таких условиях, когда непосредственное измерение усложнено или невозможно. Например, измерение тех или иных свойств многих космических объектов, галактических микропроцессов и т. д.

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

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

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

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

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

К научным методам **теоретического** уровня исследований относятся:

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

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

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

Синтез — фактическое или мысленное воссоединение целого из частей, элементов, сторон и связей, выделенных с помощью анализа. С помощью синтеза мы восстанавливаем предмет как конкретное целое во всем многообразии его проявлений. В естественных науках анализ и синтез применяются не только теоретически, но и практически. В социально-экономических и гуманитарных исследованиях предмет исследования подвергается лишь мысленному расчленению и воссоединению. Анализ и синтез как методы научного исследования выступают в органичном единстве.

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

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

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

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

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

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

Кроме рассмотренных нами эмпирических и теоретических методов существуют **общенаучные методы** исследования, к которым можно отнести следующие.

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

Гипотетико-дедуктивный метод — один из методов рассуждения, основанный на выведении (дедукции) заключений из гипотез и других посылок, истинное значение которых неопределенно. Данный метод настолько глубоко проник в методологию современного естествознания, что нередко его теории рассматриваются как тождественные с гипотетико-дедуктивной системой. Гипотетико-дедуктивная модель довольно хорошо описывает формальную структуру теорий, однако она не учитывает ряд других особенностей и функций, а также игнорирует генезис гипотез и законов, являющихся посылками. Результат гипотетико-дедуктивного рассуждения имеет лишь вероятный характер, так как его посылками служат гипотезы, а дедукция переносит вероятность их истинности на заключение.

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

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

Большое значение в современной науке приобрели **статистические методы**, позволяющие определять средние значения, характеризующие всю совокупность изучаемых предметов.

Итак, на теоретическом уровне осуществляется объяснение объекта, раскрываются его внутренние связи и сущностные процессы (теоретические законы). Если эмпирическое познание является исходным для формирования научных законов, то теория позволяет объяснить эмпирический материал. Оба эти

уровня познания тесно связаны между собой. Общими для них являются и те формы, в которых осуществляются чувственные образы (ощущения, восприятия, представления), и рациональное мышление (понятия, суждения и умозаключения).

2.3. Динамика развития науки.

Принцип соответствия

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

Д. Бруно

Развитие науки определяется внешними и внутренними факторами (рис. 2.2). К первым относится влияние государства, экономических, культурных, национальных параметров, ценностных установок ученых. Вторые определяются внутренней логикой и динамикой развития науки.



Рис. 2.2. Факторы, влияющие на развитие науки

Внутренняя динамика развития науки имеет свои особенности на каждом из уровней исследования. Эмпирическому уровню присущ обобщающий характер, поскольку даже отрицательный результат наблюдения или эксперимента вносит свой

вклад в накопление знаний. Теоретический уровень отличается более скачкообразным характером, так как каждая новая теория представляет собой качественное преобразование системы знаний. Новая теория, пришедшая на смену старой, не отрицает ее полностью (хотя в истории науки имели место случаи, когда приходилось отказываться от ложных концепций теплорода, эфира, электрической жидкости и т. п.), но чаще ограничивает сферу ее применимости, что позволяет говорить о преемственности в развитии теоретического знания.

Вопрос о смене научных концепций является одним из наиболее актуальных в методике современной науки. В первой половине XX в. основной структурной единицей исследования признавалась теория, и вопрос о ее смене ставился в зависимости от ее эмпирического подтверждения или опровержения. Главной методологической проблемой считалась проблема сведения теоретического уровня исследования к эмпирическому, что в конечном счете оказалось невозможным. В начале 60-х годов XX века американский ученый Т. Кун выдвинул концепцию, в соответствии с которой теория до тех пор остается принятой научным обществом, пока не подвергается сомнению основная парадигма (установка, образ) научного исследования в данной области. **Парадигма** (от греч. *paradigma* — пример, образец) — фундаментальная теория, объясняющая широкий круг явлений, относящихся к соответствующей области исследования. Парадигма — это совокупность теоретических и методологических предпосылок, определяющих конкретное научное исследование, которая воплощается в научной практике на данном этапе. Она является основанием выбора проблем, а также моделью, образцом для решения исследовательских задач. Парадигма позволяет решать возникающие в научных исследованиях затруднения, фиксировать изменения в структуре знания, происходящие в результате научной революции и связанные с накоплением новых эмпирических данных.

С этой точки зрения динамика развития науки происходит следующим образом (рис. 2.3): старая парадигма проходит нормальную стадию развития, затем в ней накапливаются научные факты, не объяснимые этой парадигмой, происходит революция

в науке и возникает новая парадигма, объясняющая все возникшие научные факты. Парадигмальная концепция развития научного знания затем была конкретизирована с помощью понятия "исследовательская программа" как структурной единицы более высокого порядка, чем отдельная теория. В рамках исследовательской программы и обсуждаются вопросы об истинности научных теорий.

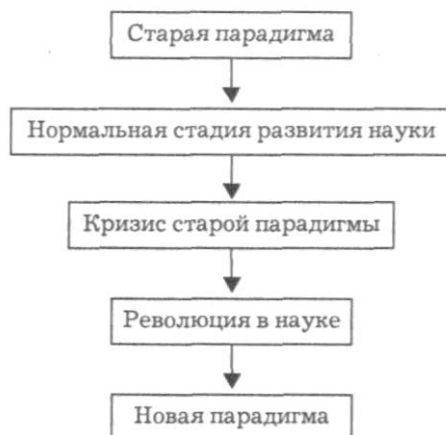


Рис. 2.3. Динамика развития науки

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

Общая динамика и закономерность, характеризующая в целом процесс исторического развития естествознания, подчиняется важному методологическому принципу, называемому принципом соответствия. **Принцип соответствия** в его наиболее общей форме утверждает, что теории, справедливость которых экспериментально установлена для той или иной области естествознания, с появлением новых, более общих теорий не устраняются как нечто ложное, но сохраняют свое значение для прежней области явлений как предельная форма и частичный

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

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

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

ВЫВОДЫ

1. Естественно-научное познание структурно состоит из эмпирического и теоретического направлений научного иссле-

дования. В структуре эмпирического направления исследования следующая схема: эмпирический факт, наблюдения, научный эксперимент, эмпирические обобщения. В структуре теоретического метода следующая схема: научный факт, понятия, гипотеза, закон природы, научная теория.

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

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

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

Вопросы для контроля знаний

1. Какова структура естественно-научного познания?
2. Какая разница существует между эмпирическими и теоретическими направлениями исследования?
3. Что такое научный метод и на чем он основывается?
4. В чем заключается единство научного метода?
5. Дайте характеристику общенаучных и конкретно-научных методов исследования.
6. Каковы основные методологические концепции развития современного естествознания?
7. Какие этические проблемы актуальны для современного естествознания?
8. Что называют парадигмой в науке?
9. Какие условия необходимы для проведения научных экспериментов?
10. Чем язык науки отличается от обычного человеческого языка?

Глава 3. ВАЖНЕЙШИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

*Где теперь эти люди мудрейшие
нашей земли?*

*Тайной нити в основе творенья
они не нашли.*

*Как они суесловили много о
сущности Бога, —*

*Весь свой век бородами трясли и
бесследно ушли.*

Омар Хайям

3.1. Система мира ангинных философов

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

была создана только в античный период. Египет, Вавилон, Древний Китай и Индия знали конкретные причинные связи явлений, пользовались некоторыми обобщенными понятиями (не только качественными, но и количественными), подошли к сравнительно разработанной картине, объясняющей смену дня и ночи, смену времен года, некоторые метеорологические явления. В странах Древнего Востока были высказаны идеи естественного причинного порядка во Вселенной.

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

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

В науке Древнего Востока обобщающая мысль поднималась к представлению о причинной закономерности во Вселенной в целом. Но это не означает, что были попытки построения единой системы природы. Такие попытки выходили за пределы возможного в речных цивилизациях, для них не хватало ни конкретных исходных сведений, ни абстрактных понятий. В Индии мысль о Вселенной, в которой нет ничего, кроме материи, противостояла религии уже за тысячу лет до н. э. Подобные направления мысли Древнего Востока не приводили к построению единой картины мира, в которой последовательная цепь причин и следствий объясняла бы всю совокупность известных людям явлений природы. Такие картины были созданы в Древней Греции.

Когда греки — носители уже не речной, а средиземноморской цивилизации — познакомились с естественно-научными представлениями Египта и культурных стран Азии и дополнили их астрономическими, географическими и биологическими сведениями, выросшими из обобщения собственного земледельческого, ремесленного, строительного и навигационного опыта, тогда в ионийских колониях появились первые единые концепции мира как целого, противостоявшие религиозно-мифологической картине строения, происхождения и развития небесных тел и Вселенной. В греческих колониях на западных берегах Малой Азии (Иония), на юге Италии и в Сицилии в VI в. до н. э. началось бурное развитие науки, в частности философии, как учения о природе. Именно здесь на смену простому созерцанию явлений природы и их наивному толкованию приходят попытки научно объяснить

эти явления, разгадать их истинные причины. Древнегреческие философы ("любители мудрости") за семь веков до нашей эры Землю уподобляли плоскому диску, края которого омываются водами океана. Над диском — твердая небесная полусфера, под диском — подземный мир (Аид — царство мертвых). В VI в. до н. э. по их представлениям Вселенная и Земля произошли от некоторого первичного элемента, т. е. укрепилась идея о материальной первооснове всех вещей: Фалес Милетский считал, что это вода, Анаксимен — воздух, Анаксимандр — (неопределенное начало), Гераклит Эфесский — огонь.

Одним из выдающихся древнегреческих мыслителей был Гераклит Эфесский (ок. 530-470 гг. до н. э.). Это ему принадлежат слова: "Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим...". Гераклит выдвинул замечательный принцип вечной изменчивости материи, идею о вечном обмене веществ между небом и Землей. Тогда же Пифагор Самосский (ок. 570-500 гг. до н. э.) высказал мысль о том, что Вселенная имеет вид концентрических, вложенных друг в друга прозрачных хрустальных сфер, к которым будто бы прикреплены планеты. В центре мира в этой модели помещалась Земля, вокруг нее вращались сферы Луны, Меркурия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. Дальше всех находилась сфера неподвижных звезд.

Первую теорию строения мира, объясняющую прямое и попятное движение планет, создал греческий философ Евдокс Книдский (ок. 408—355 гг. до н. э.). Он предположил, что у каждой планеты имеется не одна, а несколько сфер, скрепленных друг с другом. Одна из этих сфер совершает один оборот в сутки вокруг оси небесной сферы по направлению с востока на запад. Время обращения другой (в обратную сторону) предполагалось равным периоду обращения планеты. Тем самым объяснялось видимое движение планеты вдоль эклиптики. При этом предполагалось, что ось второй сферы наклонена к оси первой под определенным углом. Комбинация с этими сферами позволяла объяснить попятное движение планеты и ее наклонное движение

по отношению к эклиптике. Все особенности движения Солнца и Луны объяснялись с помощью трех сфер. Звезды Евдокс разместил на одной сфере, вмещающей в себя все остальные. Таким образом, все видимое движение небесных светил Евдокс свел к вращению 27 сфер.

В дальнейшем развитии мировоззрения большую роль сыграла **математическая программа Пифагора-Платона**. Платон (427-347 гг. до н. э.) полагал, что основой мира являются огонь, воздух, вода, земля. Пифагор и его последователи высказали мысль о шарообразности Земли: Земля — сфера, подобная самой себе во всех направлениях: она не имеет ни верха, ни низа. Пифагор также обратил внимание на то, что Солнце совершает полный оборот в течение года по эклиптике в направлении, противоположном суточному вращению звездного неба, которое представлялось сферой, окружающей Землю. Пифагореец Филолай (V в. до н. э.) предложил пирокентрическую систему мира, в которой Земля, Солнце, Луна, 5 планет, противоземля и сфера неподвижных звезд обращаются вокруг центрального огня. Пирокентрическая система Филолая уступила геоцентрической системе Платона (она связывается с именем Птолемея и продержалась до XVI в.). Платон высказал предположение, что Земля находится в центре мира, что вокруг нее обращаются Луна, Солнце, далее — утренняя звезда Венера, звезда Гермеса (Меркурий), звезды Ареса, Зевса и Кронуса (Марс, Юпитер и Сатурн). У Платона впервые встречаются названия планет по имени богов, полностью совпадающие с вавилонскими. Представления о равномерном, круговом, совершенно правильном движении небесных тел высказал также Платон. Он впервые сформулировал задачу: найти, с помощью каких равномерных и правильных круговых движений можно "спасти явления, представляемые планетами". Другими словами, Платон ставил задачу построить геометрическую модель мира, в центре которой должна была находиться Земля.

Усовершенствованием системы мира Евдокса занялся ученик Платона **Аристотель** (384-322 гг. до н. э.). Так как взгляды этого выдающегося философа-энциклопедиста безраздельно

господствовали в физике и астрономии в течение почти двух тысяч лет, остановимся на них подробнее. Учение Аристотеля, которое отрицало пустоту (вакуум) в природе, считало, что материальная субстанция беспрельдно делима, и разграничивало "земное" и "небесное". Земля, по его представлениям, есть мир тленный, где происходит постоянный круговорот — рождение и смерть, произрастание и увядание; небо, наоборот, усеяно светилами, состоящими из одного эфира — нетленного элемента; все светила являются поэтому вечными и совершенными. Аристотель, вслед за философом Эмпедоклом (ок. 490-430 гг. до н. э.), предположил существование четырех "стихий": земли, воды, воздуха и огня, из смешения которых будто бы произошли все тела, встречающиеся на Земле. По Аристотелю, стихии вода и земля естественным образом стремятся двигаться к центру мира ("вниз"), тогда как огонь и воздух движутся "вверх" к периферии и тем быстрее, чем ближе они к своему "естественному" месту. Поэтому в центре мира находится Земля, над ней расположены вода, воздух и огонь. Таким образом, Аристотель различает естественные и насильственные движения тел.

Для земных тел естественными являются движения по прямой к центру Космоса (т. е. вниз) или от центра Космоса (вверх): тяжелые тела по самой своей природе стремятся вниз, а легкие — вверх. Всякие иные движения земных тел являются насильственными. Представления Аристотеля о естественных и насильственных движениях тел господствовали в науке в течение многих столетий — вплоть до XVI-XVII вв., когда возникла механика Галилея-Ньютона. По Аристотелю, Вселенная ограничена в пространстве, хотя ее движение вечно, не имеет ни конца, ни начала. Это возможно как раз потому, что кроме упомянутых четырех элементов существует и пятая, неуничтожимая форма материи, которую Аристотель назвал эфиром. Из эфира будто бы состоят все небесные тела, для которых вечное круговое движение — это естественное состояние. "Зона эфира" начинается около Луны и простирается вверх, тогда как ниже Луны находится мир четырех элементов.

При построении своей системы мира Аристотель использовал представления Евдокса о концентрических сферах, на которых расположены планеты и которые обращаются вокруг Земли. По Аристотелю, Космос ограничен, имеет форму сферы, в центре которой находится земной шар, за пределами сферы нет ничего — ни пространства, ни времени. В пределах же сферы нет пустоты — все заполняет "первичная материя". Все небесные движения совершенны, т. е. совершаются равномерно по кругам согласно принципу пифагорейцев. Аристотель представлял себе планеты прикрепленными к определенным прозрачным сферам, которые вращаются вокруг неподвижной Земли. У него имеются убедительные доказательства шарообразности Земли. Одним из них было изменение вида звездного неба при передвижении наблюдателя по земной поверхности: в южных странах появляются новые созвездия, невидимые на севере, чем дальше к северу, тем больше видно незаходящих звезд. Второе доказательство Аристотеля основано на наблюдениях лунных затмений: тень Земли на диске Луны всегда ограничена дугой круга. Из того, что все тела при падении стремятся к центру Земли, по мнению Аристотеля, следует, что Земля должна иметь шаровидную форму. В своих трудах Аристотель изложил принципы классификации животных, провел сравнение различных животных по их строению, заложил основы античной эмбриологии.

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

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

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

Значительный вклад в развитие представлений о Вселенной внес древнегреческий астроном Гиппарх (II в. до н. э.). Он уточнил каталог китайских астрономов Чань Чун и Ши Шень (355 г. до н. э.) и греческих астрономов Аристилла и Тимохариса (280 г. до н. э.), и его каталог содержал сведения о 850 звездах и 48 созвездиях. Гиппарх обнаружил, что видимое движение Солнца и Луны на небе является неравномерным. Поэтому он считал, что эти светила движутся равномерно по круговым орбитам, однако центр круга смещен по отношению к центру Земли. Такие орбиты были названы эксцентрами. Гиппарх составил таблицы, по которым можно было определить положение Солнца и Луны на небе на любой день года. Благодаря работам Гиппарха астрономы отказались от мнимых прозрачных сфер, предложенных Евдоксом,

и перешли к более сложным построениям с помощью эпициклов и деферентов.

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

3.2. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы строения мира

*Коперник пусть Разглядывает
звезды. Любовь — моя звезда,
Мой свет и воздух...*

Р. Гамзатов

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

В Средневековье надолго затормозилось развитие науки. Системы мира Аристотеля и Птолемея были признаны согласными с религиозной идеологией. Основа христианской религии — тезис искупления (пришествие на Землю бога для спасения людей) гармонировал с представлением об исключительном положении Земли как центра мира. Некоторый подъем астрономической науки в Средние века нужно отметить у арабов, народов Средней Азии и Кавказа. Труды Птолемея вместе с другими древними астрономическими источниками послужили отправной точкой для ряда усовершенствований геоцентрической системы мира, разработанной средневековыми учеными и философами, в особенности Ибн Хайсамом (известным в Европе под именем Альхазена) и Ибн Шатиром, принадлежавшим к астрономической школе Насир эд Дина Туси (XII в.).

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

В Средние века в научно-философской среде мусульманского Востока и христианского Запада предметом особого обсуждения стал вопрос о физической реальности птолемеевских эпициклов и деферентов. По мнению Абу Райхана Бируни, эпициклы и деференты имеют вполне реальное физическое существование. В то же время другой крупный представитель научно-философской мысли Средневековья Ибн Рушд (Аверо-эс), хотя и допускал, что эпициклы и деференты сами по себе нужны для расчета и предсказания положения планет, вместе с

тем оспаривал мнение, согласно которому эпициклы и деференты существуют внутри реального космоса в актуально-физическом смысле.

Значительным шагом вперед было геологическое учение Ибн Сины (Авиценны). Впервые в истории науки он открыл закон последовательности залегания осадочных пород (500 лет спустя его вновь открыл датский естествоиспытатель Николаус Стено). Это открытие послужило отправным пунктом для формулировки Авиценной более общей научной концепции — учения об эволюции земной коры. К идее эволюции независимо от Ибн-Сины пришел также его современник Абу Райхан Бируни. Это учение имело огромное мировоззренческое значение вследствие того, что идея постоянного изменения земной поверхности резко противоречила религиозному постулату о единовременном и совокупном творении всего космоса и его пребывании в дальнейшем в вековечном, абсолютно неизменном состоянии. Между Ибн Синой и Бируни дискутировалась также проблема существования изолированных миров. Согласно Бируни, вполне допустимо, что "другой мир обладает теми же природными свойствами, что и наш мир, но только эти свойства созданы таким образом, что направления движения в нем отличаются от направлений движения в нашем мире и что каждый из этих миров отделен от другого некой преградой. Судя по аргументации, приведенной Ибн Синой против такой постановки вопроса о множественности миров, его прежде всего волновала проблема существования пустоты и связанный с ней вопрос о физической природе преграды, отделяющей эти миры друг от друга. Бируни же допускал возможность существования других миров иной природы, отделенных некой преградой от нашего мира. Эти вопросы, интересовавшие мыслителей Средневековья, исторически соотносимы с некоторыми современными космологическими моделями пространственной локализации системы "мир—антимир", многомерными пространствами.

У различных ученых начинают намечаться попытки нового подхода к объяснению небесных явлений, пока, наконец, польский мыслитель Николай Коперник не сделал великого шага к

созданию нового мировоззрения, давшего толчок мощному развитию астрономии как науки. Основой возникновения всех этих новых идей является грандиозный хозяйственный переворот. Великое свое творение Коперник изложил в книге "Об обращениях небесных сфер", появление которой относится к 1543 г., т. е. к году смерти Коперника, и составляет результат многолетних его работ. Геоцентрическая система Птолемея с течением времени усложнялась, ибо повышенные требования к точности астрономических вычислений делали необходимым увеличение количества дополнительных окружностей (эпициклов, деферентов), чтобы согласовать систему с Землей в центре и вращающимися вокруг нее по окружностям планетами с наблюдаемыми движениями этих планет. Ко времени Коперника число деферентов и эпициклов возросло до 56 и имело тенденцию расти дальше. Уже в античности многие мыслители не были удовлетворены такой сложной "неестественной" конструкцией. Один из них (Прокл) считал, что эпициклы — всего лишь умственные построения, созданные для "спасения явлений", и что пути планет на самом деле являются сложными и неравномерными, другие (Симплиций) вообще полагали, что сложные пути планет — всего лишь видимость, что за ней находится некая непознанная глубинная сущность.

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

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

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

Впервые Коперник дал правильный план строения Солнечной системы, установив ее относительные масштабы. Приняв за единицу измерений расстояние от Земли до Солнца, он нашел, что расстояния от Солнца до Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна равны соответственно 0,376, 0,723, 1,52, 5,217 и 9,184. За исключением последней, эти цифры почти не отличаются от современных. Учение Коперника произвело настоящую революцию не только в астрономии, но и во всем человеческом мировоззрении. Коперник стер грань между "земным" и "небесным".

Последующие шаги в создании новой картины мира были сделаны Г. Галилеем и К. Кеплером, оба они были убежденными сторонниками учения Н. Коперника. Галилей впервые использовал подзорную трубу собственной конструкции для астрономических наблюдений, открыв горы на Луне, т. е. открыв, что Луна имеет не идеальную форму шара, присущую якобы лишь телам "небесной природы", а имеет вполне "земную" природу. Таким образом, была поколеблена идея, идущая еще от Аристотеля, о принципиальном различии между "совершенными" небесными телами и несовершенными земными. Другие его астрономические открытия: открытие четырех спутников Юпитера (1610 г.), обнаружение фаз Венеры, наличие пятен на Солнце — имели огромное мировоззренческое значение, подтверждающее материальное единство мира. Наглядно было показано, что Земля

не является единственным центром, вокруг которого должны обращаться все тела. Это было важным доказательством в пользу системы мира Н. Коперника.

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

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

3.3. Механистическая и электромагнитная картины мира

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

А. И. Герцен

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

Стройную логическую систему научной картине мира придали законы механики, разработанные Исааком Ньютоном и изложенные в его гениальной работе "Математические начала натуральной философии" в 1687 году. Ньютон внес в научную картину мира не только новое содержание, но и принципиально новый стиль однозначного объяснения природы. Ньютон создал основы теории гравитационного поля, он вывел закон тяготения, определяющий силу тяготения, которая действует на данную массу в любой точке пространства, если заданы масса и положение тела, служащего источником сил тяготения, т. е. притягивающего к себе другие тела.

Динамические законы Ньютона не только следуют из соответствующих кинематических законов Галилея и Кеплера, но и сами могут быть положены в основу всех трех кинематических законов Кеплера и обоих кинематических законов Галилея, а также всевозможных теоретически ожидаемых отклонений от

них из-за сложного строения и взаимных гравитационных возмущений взаимодействующих тел.

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

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

Поэтому долгое время в науке доминировала **механистическая картина мира**. Здесь можно выделить четыре следующих принципиальных момента:

1. Мир строился на едином фундаменте — на законах механики Ньютона. Все наблюдаемые в природе превращения, а также тепловые явления на уровне микроявлений сводились к механике атомов и молекул — их перемещениям, столкновениям, сцеплениям, разъединениям. Открытие в середине XIX в. закона сохранения и превращения энергии, казалось, окончательно доказывало механическое единство мира.

2. В механистической картине мира все причинно-следственные связи однозначные, здесь господствует лапласовый детерминизм.

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

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

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

Во второй половине XIX в. на основе исследований М. Фарадея и Д. Максвелла возникла **электромагнитная картина мира**.

Согласно этой картине материя существует в двух видах — в виде вещества и в виде поля, причем между указанными видами материи имеется непреходимая грань: вещество не превращается в поле, а поле не превращается в вещество.

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

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

Дальнейшими результатами того периода мы обязаны М. Фарадею. Из них особое значение имело открытие электромагнитной индукции. Фарадей исходил из основной идеи о взаимной связи явлений природы. Он считал, что если ток способен вызывать магнитные явления, то и обратно, при помощи магнитов или других токов, можно получить электрические токи. В результате настойчивости и многих попыток Фарадей действительно открыл в 1831 г. это явление, которое еще более укрепило представление о связи между электричеством и магнетизмом.

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

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

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

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

Если в XVIII в. стремились свести все к механике, то теперь все, включая и ряд механических явлений (например, трение, упругость), стремятся свести к электромагнетизму. Вне сферы электромагнетизма остается только тяготение. В качестве элементарных структур, из которых построена вся материя, рассматриваются всего три частицы — электрон, протон и фотон. Фотоны — кванты электромагнитного поля. При рассмотрении электромагнитного поля наряду с волновыми используются так-

же корпускулярные (фотонные) представления, утвердившиеся в естествознании как корпускулярно-волновой дуализм.

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

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

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

3.4. Современная естественно-научная картина мира

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

Тит Лукреций Кар

Современная естественно-научная картина мира является результатом синтеза систем мира древности, античности, гео-и гелиоцентризма, механистической, электромагнитной картин мира и опирается на научные достижения современного естествознания (табл. 3.1).

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

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

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

Согласно первой модели атома, построенной английским ученым Эрнестом Резерфордом, атом уподоблялся миниатюр-

Таблица 3.1

Основные этапы становления современной
естественно-научной картины мира

Этап истории	Научная картина мира
4000 лет до н. э.	Научные догадки египетских жрецов, составление солнечного календаря
3000 лет до н. э.	Предсказание солнечных и лунных затмений китайскими мыслителями
2000 лет до н. э.	Разработка семидневной недели и лунного календаря в Вавилоне
VIII в до н. э.	Первые представления о единой естественно-научной картине мира в античный период. Возникновения представлений о материальной первооснове всех вещей
VII в. до н. э.	Создание математической программы Пифагора-Платона
VI в. до н. э.	Атомистическая физическая программа Демокрита-Эпикура
V в. до н. э.	Континуа листическая физическая программа Анаксагора-Аристотеля
II в. н. э.	Изложение геоцентрической системы мира К. Птолемеом в сочинении "Альмагест"
1543 г.	Гелиоцентрическая система строения мира польского мыслителя Н. Коперника
XVII в.	Становление механистической картины мира на основе законов механики И. Кеплера и И. Ньютона
XIX в.	Возникновение электромагнитной картины мира на основе трудов М. Фарадея и Д. Максвелла
XX в.	Становление современной естественно-научной картины мира

ной Солнечной системе, в которой вокруг ядра обращаются электроны. Энергия излучается и поглощается атомом в виде квантов или порции энергии только при переходе электрона с одной орбиты на другую.

В 30-е годы XX в. было сделано другое важнейшее открытие, которое показало, что элементарные частицы вещества, например электроны, обладают не только корпускулярными, но и волновыми свойствами. Это явление получило название дуализма волны и частицы — представление, которое никак не укладывалось в рамки обычного здравого смысла. До этого физики придерживались убеждения, что вещество, состоящее из разнообразных материальных частиц, может обладать лишь корпускулярными свойствами, а энергия поля — волновыми свойствами. Соединение в одном объекте корпускулярных и волновых свойств совершенно исключалось. В 1925-1927 гг. для объяснения процессов, происходящих в мире мельчайших частиц материи — микромире, была создана новая волновая, или квантовая, механика. Впоследствии возникли и разнообразные другие квантовые теории: квантовая электродинамика, теория элементарных частиц и другие, которые исследуют закономерности движения микромира.

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

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

Еще более радикальные изменения в учении о пространстве и времени произошли в связи с созданием общей теории относительности, которую нередко называют новой теорией тяготения, принципиально отличной от классической ньютоновской теории. Эта теория впервые ясно и четко установила связь между свойствами движущихся материальных тел и их пространственно-временной метрикой. Теоретические выводы из нее были экспериментально подтверждены во время наблюдения солнечного затмения. Согласно предсказаниям теории, луч света, идущий от далекой звезды и проходящий вблизи Солнца, должен отклониться от своего прямолинейного пути и искривиться, что и было подтверждено наблюдениями. Общая теория относительности показала глубокую связь между движением материальных тел, а именно тяготеющих масс и структурой физического пространства-времени.

В современной естественно-научной картине мира наблюдается теснейшая связь между всеми естественными науками, здесь время и пространство выступают как единый пространственно-временной континуум, масса и энергия взаимосвязаны, волновое и корпускулярное движения, в известном смысле, объединяются, характеризуя один и тот же объект, наконец, вещество и поле взаимопревращаются. Поэтому в настоящее время предпринимаются настойчивые попытки создать единую теорию всех взаимодействий. Включение гравитации в

существующие теоретические схемы вынуждает привлекать такие сложные теоретические конструкции, как многомерные пространства, суперсимметрии и суперструны и т. п. Важно, что, как и для других полей, в основе описания гравитационного взаимодействия должны лежать квантовые закономерности. Классическое гравитационное поле и связанное с ним классическое пространство-время являются приближениями, справедливыми в определенных условиях.

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

Научно-техническая революция, развернувшаяся в последние десятилетия, внесла много нового в наши представления о естественно-научной картине мира. Возникновение системного подхода позволило взглянуть на окружающий мир как единое, целостное образование, состоящее из огромного множества взаимодействующих друг с другом систем. С другой стороны, появление такого междисциплинарного направления исследований, как синергетика, или учение о самоорганизации, дало возможность, не только раскрыть внутренние механизмы всех эволюционных процессов, которые происходят в природе, но и представить весь мир как мир самоорганизующихся процессов. Заслуга синергетики состоит прежде всего в том, что она впервые показала, что процессы самоорганизации могут происходить в простейших системах неорганической природы, если для этого имеются определенные условия (открытость системы и ее неравновесность, достаточное удаление от точки равновесия и некоторые другие). Чем сложнее система, тем более высокий уровень имеют в них процессы самоорганизации. Главное достижение синергетики и возникшей на ее основе новой концепции самоорганизации состоит в том, что они помогают взглянуть

на природу как на мир, находящийся в процессе непрестанной эволюции и развития.

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

РевOLUTIONные преобразования в естествознании означают коренные, качественные изменения в концептуальном содержании его теорий, учений и научных дисциплин при сохранении преемственности в развитии науки и прежде всего ранее накопленного и проверенного эмпирического материала. Среди них в каждый определенный период выдвигается наиболее общая или фундаментальная теория, которая служит парадигмой, или образцом, для объяснения фактов известных и предсказания фактов неизвестных. Такой парадигмой в свое время служила теория движения земных и небесных тел, построенная Ньютоном, поскольку на нее опирались все ученые, изучавшие конкретные механические процессы. Точно так же все исследователи, изучавшие электрические, магнитные, оптические и радиоволновые процессы, основывались на парадигме электромагнитной теории, которую построил Д. К. Максвелл. Понятие парадигмы для анализа научных революций подчеркивает важную их особенность — смену прежней парадигмы новой, переход к более общей и глубокой теории исследуемых процессов.

Все прежние картины мира создавались как бы извне — исследователь изучал окружающий мир отстраненно, вне связи с собой, в полной уверенности, что можно исследовать явления, не нарушая их течения. Такова была веками закреплявшаяся

естественно-научная традиция. Теперь научная картина мира создается уже не извне, а изнутри, сам исследователь становится неотъемлемой частью создаваемой им картины. Очень многое нам еще неясно и скрыто от нашего взора. Тем не менее сейчас перед нами разворачивается грандиозная гипотетическая картина процесса самоорганизации материи от Большого взрыва до современного этапа, когда материя познает себя, когда ей присущ разум, способный обеспечить ее целенаправленное развитие.

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

ВЫВОДЫ

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

2. Галилей своими астрономическими открытиями дал новые аргументы в пользу идеи физической однородности Вселенной и тем самым способствовал окончательному преодолению аристотелевского принципа субстанциональной противоположности Земли и неба. Всеобщий синтез физического знания затем был произведен И. Ньютоном, заложившим фундамент величественного здания классической физики и содержащим программу будущего развития науки. Так началось построение механистической картины мира, охватывающей все виды материи от корпускул света и атомов вещества до планет и Солнца включительно.

3. Во второй половине XIX в. на основе исследований М. Фарадея и Д. Максвелла возникла электромагнитная картина мира. Если в XVIII в. стремились свести все к механике, то теперь все стремятся свести к электромагнетизму. Вне сферы электромагнетизма остается только тяготение. В электромагнитной

картине, как и в механистической, господствовали однозначные причинно-следственные связи.

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

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

Вопросы для контроля знаний

1. *Что представляет собой картина мира?*
2. *Какие представления о мире были в древности и античности?*
3. *Назовите основные принципы атомистического учения о природе, обоснованные Демокритом.*
4. *Какие положения складывают физику Аристотеля?*
5. *Что такое геоцентрическая и гелиоцентрическая модели устройства мира?*
6. *Какова роль Ньютона в истории естествознания?*
7. *В чем состоят преимущества и недостатки механистической картины мира?*
8. *Какое значение имеют в современной науке принципы лапласовского детерминизма?*
9. *Какой новый вклад в картину мира вносит электромагнитная теория?*
10. *Каковы причины перехода от классического к неклассическому описанию природы? В чем его сущность?*
11. *Каково значение книги Дарвина "Происхождение видов"?*
12. *Какие этапы проходит естествознание в своем историческом развитии?*
13. *Почему время от времени происходит радикальное изменение естественно-научной картины мира?*

14. Что такое научная революция? С чего она обычно начинается, чем сопровождается и чем заканчивается?

15. В чем состоят особенности революции естествознания в конце XIX — начале XX века?

16. В чем изменились взгляды на природу в связи с исследованием процессов в микромире?

17. Каковы основополагающие концепции современной картины мира?

18. В чем отличие химии от алхимии, астрономии от астрологии?

Глава 4. КОНЦЕПЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

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

А. Эйнштейн

4.1. Понятие пространства и времени

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

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

При практическом построении координатной системы отсчета выбирают тело отсчета или совокупность тел отсчета и

некоторую точку — начало отсчета, а также три фиксированных направления — оси координат. К ним добавляют эталонный масштаб длины, позволяющий определять расстояния, единицы угловых измерений, а также соответствующие приборы и инструменты, с помощью которых находят три параметра, которые принимаются в качестве координат выбранной точки. Для измерения промежутков времени и определения моментов наступления событий задаются начало отчета времени и эталонные часы, причем предполагается, что часами снабжены все точки пространства и часы синхронизированы между собой. Под часами понимают любой строго периодический процесс, продолжительность которого принимается за единицу.

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

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

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

- свойство материальных объектов иметь определенную форму, структуру.

Время есть всеобщая объективная форма существования движущейся материи, являющаяся необходимым условием возникновения и изменения конкретных материальных систем и выражающая структурность, темп и длительность материальных процессов и объективную последовательность событий. Следовательно, понятие "время" выражает также всеобщее свойство таких материальных систем и процессов, как:

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

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

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

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

Пространство и время есть единство бесконечного и конечного. Бесконечность пространства проявляется абсолютным характером движущейся материи, отсутствием каких-либо ко-

нечных, застывших состояний, неисчерпаемостью в структурном отношении и качественными превращениями материи. Бесконечность времени состоит в том, что материя вечна в прошлом и будущем, что время — это всеобщая форма существования бесконечной материи.

Конечность пространства выражается в прерывности движения, дискретности и дифференцированности материальных систем. Точно так же время складывается из бесконечного множества длительностей существования отдельных материальных систем, где протекают необратимые процессы.

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

Создание в первой половине XIX в. Н. Лобачевским, а затем Б. Риманом неевклидовой геометрии устранило один из основных доводов в пользу ньютоновской концепции пространства и

времени — наличие только одной евклидовой геометрии. Так, геометрия, созданная Н. Лобачевским, отражает новые, неизвестные ранее, свойства пространства. Она исходит из материалистического принципа зависимости геометрических свойств пространства от материи, от происходящих материальных процессов. Идеи Лобачевского значительно подорвали метафизическое представление об однородности и абсолютности пространства. Вместе с тем эти новые идеи явились сильнейшим ударом по априоризму Канта, который рассматривал пространство и время как априорные формы человеческого созерцания, предшествующие всякому опыту. Тем самым Лобачевский показал, что пространственные формы присущи самому объективному миру и что геометрические положения отражают свойства реального пространства, имеют опытное происхождение.

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

4.2. Измерение времени

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

Г. Державин

Исторически измерение времени принято проводить на основе вращения Земли вокруг оси и обращения Земли вокруг

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

Среднее солнечное время данного географического меридиана называют местным временем. Оно увеличивается к востоку. За начало местных времен принят Гринвичский меридиан, местное время которого называют всемирным временем. Пользоваться местным временем в близкорасположенных местах неудобно. Поэтому по предложению канадского инженера Флеминга в 1884 г. введено поясное время. Поверхность Земли разбита на 24 часовых пояса вокруг 24 основных меридианов, проходящих через 15° по долготе. Местное время основного меридиана принято за время всего пояса и называется поясным временем. Принято начало суток считать с демаркационной линии или линии перемены даты, проведенной на 180° от Гринвичского меридиана. При переходе с запада на восток с одного часового пояса на другой время увеличивается на 1 час, а при переходе с запада на восток через демаркационную линию уменьшается на 1 сутки, при обратном переходе — наоборот. В целях рационального использования энергии за сутки вводят декретное, или сезонное, время, когда к поясному времени добавляют 1 час на весь год или на сезон. Из-за неравномерности вращения Земли вокруг оси, обусловленной влиянием лунных, солнечных приливов, сезонных перераспределений водных, воздушных масс

и других причин, за эталон времени принято атомное время. Эталонная секунда равна 9 192 631 770 периодам колебаний, соответствующим переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущений внешних полей.

Для измерения длительных промежутков времени используют календарь. Точный календарь должен быть близким к продолжительности тропического года и содержать целое число суток. Продолжительность тропического года, одного оборота Земли вокруг Солнца, составляет 365 сут. 5 час 48 мин. 46 сек., или 365,24220 средних солнечных суток. В истории народов было множество календарей. Наиболее распространенными из них являются лунный и солнечный. Лунный календарь основан на продолжительности синодического лунного месяца (промежутков времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны и равен 29,53 средних солнечных суток). Поэтому лунный календарь содержит 12 месяцев, из которых 6 имеют 30 суток, 6 — 29 суток. Продолжительность календарного года 354 суток (меньше тропического года на 11,2422 суток). Поэтому начало каждого следующего года в лунном календаре встречаются на эту величину раньше. По продолжительности основных фаз Луны (новолуние, 1-я четверть, полнолуние, последняя четверть) возникла семидневная неделя в Вавилоне. Они назвали воскресенье днем Солнца, понедельник — Луны, вторник — Марса, среду — Меркурия, четверг — Юпитера, пятницу — Венеры, субботу — Сатурна. Так называют дни недели многие европейские народы. Славянские народы дни недели называли как: понедельник — 1-й день недели, вторник — 2-й день, среда — середина недели, четверг — 4-й день, пятница — 5-й день, суббота — иудейский праздник шаабат, воскресенье — христианский праздник.

Солнечный календарь возник в Египте. В начале он содержал 360 суток. Видимо, отсюда пошло деление математиками окружности на 360° . Затем уточнили его до 365 суток. А в 46 г. до н. э. по предложению александрийского ученого Созигена Ю. Цезарь ввел календарь с високосными годами, называемый

юлианским календарем. Три года считались здесь простыми и содержали по 365 суток, а четвертый, делящийся без остатка на 4, — високосным (повторный шестой). Продолжительность юлианского года 365,25 суток. Дальнейшее уточнение солнечного календаря сделал в 1582 году папа римский Григорий XIII. Здесь в отличие от юлианского календаря из годов столетий високосными считаются только те, у которых сотни делятся на 4 без остатка. Продолжительность григорианского календарного года 265,2425 суток. Мы сейчас пользуемся григорианским календарем. Разделение года на 12 месяцев и их продолжительность перешло к нам от римского календаря. Начало года тогда было с марта, названного в честь их бога-покровителя Марса, апрель от латинского названия — солнечный, май — в честь богини Земли Майи, июнь — в честь богини неба Юноны, июль — Юлия Цезаря, август — Октавиана Августа, сентябрь означает седьмой (септембер), октябрь — восьмой (октобер), ноябрь — девятый (новембер), декабрь — десятый (децембер), январь — в честь двуликого бога времени Януса, февраль — месяц очищений перед новым годом. Позднее начало года перенесли на 1 января.

Начала летосчислений в истории общества были различные: от Сотворения мира, от основания Рима, от Олимпийских игр, от появления каких-то правителей. Нынешнее летосчисление относят к Рождеству Христову.

4.3. Пространство и время в специальной теории относительности

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

Г. Минковский

Систем отсчета бесконечно много, но среди них можно выделить класс так называемых инерциальных. В инерциальных системах отсчета всякие свободно движущиеся объекты движут-

ся равномерно и прямолинейно. Инерциальных систем отсчета можно выбрать сколь угодно, и все они будут относительно друг друга двигаться по инерции.

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

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

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

При обобщении принципа относительности и распространении его на электромагнитные процессы постулируется постоянство скорости света, т. е. скорость света не складывается со скоростью системы отсчета. Чем вызвано такое особое отношение к свету и его скорости как к эталону для измерения времени и пространства? Это связано с тем, что свет есть электромагнитная волна, являющаяся формой материи. Световой волне для распростране-

ния не требуется специальной материальной среды — эфира (как морским волнам нужна вода, звуку — воздух, вода или твердое тело). Причем скорость света не зависит от движения источника света или наблюдателя. Это утверждение обычно называют принципом относительности. По словам А. Эйнштейна, теория относительности начинается с двух положений:

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

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

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

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

А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что закон постоянства распространения света в пустоте ($300\,000\,000$ км/с) и принцип относительности совместимы. Это положение составляет основу **специальной теории относительности**. Он отметил, что классическая механика опиралась на две ничем не оправданные гипотезы:

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

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

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

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

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

Если принять предположение классической механики об абсолютном характере расстояний и времен, то уравнения преобразования пространственных координат и времени при

переходе от покоящейся системы отсчета к движущейся вдоль оси x относительно него равномерно прямолинейно со скоростью v система отсчета будут иметь следующий вид:

$$x' = x_0 - vt; y' = y; z' = z; t' = t.$$

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

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

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

Эйнштейн отмечает, что неподвижный наблюдатель воспринимает проносящееся мимо него шарообразное тело в виде сплюснутого эллипсоида вращения. С точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с телом, оно, как и прежде, сохраняет форму шара, однако все предметы, не движущиеся вместе с этим наблюдателем, точно таким же образом представляются ему укороченными в направлении движения. Этот результат оказывается не таким уж странным, если учесть, что это выска-

зывание о размерах движущегося тела имеет весьма сложный смысл, поскольку теперь размеры тела можно определить только с помощью измерения времени. Пространство и время рассматриваются теперь во взаимосвязи.

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

$$\ell_{\text{дв.}} = \ell_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}.$$

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

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

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

В 1905 г. А. Эйнштейн пришел к заключению, что масса тела есть мера содержащейся в нем энергии. Позднее он формулирует следующий важный вывод специальной теории относительное-

ти: масса и энергия эквивалентны друг другу — появляется знаменитая формула Эйнштейна, связывающая энергию и массу:

$$E = mc^2.$$

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

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

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

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

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

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

Парадокс близнецов. Поскольку в равномерно движущемся с огромной скоростью космическом корабле темп времени замедляется и все процессы происходят медленнее, чем на Зем-

ле, то космонавт, вернувшись на нее, окажется моложе своего брата-близнеца.

Рассмотрим двух близнецов А и В в возрасте 20 лет. Один из них (В) отправляется в космическое путешествие к звезде Арктур на корабле, летящем со скоростью 0,99 с. Для жителей Земли расстояние до звезды Арктур составляет 40 световых лет. Сколько лет будет близнецам А и В, когда В, закончив свое путешествие, вернется обратно на Землю?

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

С точки зрения близнеца В, часы на космическом корабле будут идти медленнее в $1/\sqrt{1 - (0,99)^2} = 1/\sqrt{0,02} = 1/0,141$ раза. Это значит, что за время путешествия на корабле пройдет 80 лет, умноженные на 0,141, или 11,4 года. Итак, к концу путешествия близнец В будет в возрасте $20 + 11,4 = 31,4$ года. Следовательно, он окажется моложе своего брата, оставшегося на Земле, на 68,6 года. Космический путешественник не чувствует, что его время идет медленнее. В приведенном примере расстояние до звезды Арктур кажется близнецу В укороченным благодаря лоренце-

вому сокращению. По его измерениям расстояние от Земли до

звезды Арктур составляет $\sqrt{1 - (0,99)^2} \times 40$ световых лет, или

5,64 световых лет, а чтобы долететь до Арктура и вернуться обратно — 11,4 года. Этот результат согласуется с вычислениями близнеца А, оставшегося на Земле.

Однако возникает кажущийся парадокс: если космонавт взглянет на Землю, он увидит, что земные часы идут медленнее, чем его часы. Казалось бы, близнец А в конце путешествия окажется моложе В, что противоречит предыдущим аргументам. В самом деле, если скорость действительно относительна, то как вообще можно прийти к асимметрическому результату? Разве из симметрии не следует, что оба брата должны остаться в одинаковом возрасте?

На первый взгляд кажется, что теория Эйнштейна ведет к противоречию. Но парадокс устраняется, если учесть, что задача несимметрична по своей природе. Неправильность приведшего к парадоксу рассуждения состоит в том, что системы отсчета, связанные с близнецами, неэквивалентны — одна из них инерциальна, а вторая, связанная с ракетой, неинерциальна. Близнец на Земле все время остается в одной и той же инерциальной системе отсчета, тогда как его брат-космонавт переходит из одной системы отсчета в другую. Правильное применение уравнений Эйнштейна также приводит к выводу, что с точки зрения космонавта его брат, оставшийся на Земле, к концу путешествия окажется старше.

В настоящее время известно много экспериментальных подтверждений замедления времени. Замедление времени играет большую роль при работе на современных ускорителях, где часто приходится направлять частицы от источника их получения к далеко отстоящей мишени, с которой частица взаимодействует. Если бы не было эффекта замедления времени, то это было бы невозможно, потому что время прохождения этих расстояний зачастую в десятки и сотни раз больше собственного времени жизни частиц в состоянии покоя. В пользу этого говорят также наблюдения над элементарными частицами, названными мю-мезонами, или мюонами. Средняя продолжительность существования таких частиц около 2 мкс, но тем не менее некоторые из них, образуемые на высоте 10 км, долетают до поверхности Земли. Как объяснить этот факт? Ведь при средней "жизни" в 2 мкс эти частицы могут проделать путь только 600 м. Все дело в том, что продолжительность существования мюонов определяется по-разному для разных систем отсчета. С "их" точки отсчета, они живут 2 мкс, с нашей же, земной, — значительно больше, так что некоторые из них, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света, достигают поверхности Земли. Замедление времени равно:

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

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

Пространство — это трехмерный континуум. Трехмерный — потому что положение точки определяется в пространстве тремя числами (три пространственных координаты). Континуум означает непрерывность — около любой данной точки можно указать сколько угодно других точек, координаты которых могут быть сколь угодно близки к координатам заданной точки. Известно, что все события происходят в пространстве и во времени. Однако в классической физике пространство и время рассматривались как самостоятельные категории; время было абсолютным — оно не зависело от пространственных координат события. Согласно же специальной теории относительности, время нельзя рассматривать независимо от пространства, не имеет смысла говорить "сейчас", если не оговорено "где"; время и пространство оказались внутренне взаимосвязанными. Развивая идеи, высказанные еще в 1905 г. Пуанкаре, математик Г. Минковский дал в 1908 г. геометрически наглядное представление

специальной теории относительности, введя четырехмерный пространственно-временной континуум (четырехмерный мир Минковского). Всякое физическое событие есть некоторая точка в четырехмерном мире, она определяется четырьмя числами — тремя координатами и временем. События описываются как $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0$. В таком случае преобразования Лоренца могут рассматриваться формально как чисто геометрическое преобразование (поворот осей), выполняемое, однако, не в обычном трехмерном пространстве, а в четырехмерном континууме. Как отмечал Эйнштейн, даже нематематику должно быть ясно, что благодаря этому чисто формальному положению теория относительности чрезвычайно выиграла в наглядности и стройности.

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

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

4.4. Общая теория относительности о пространстве и времени

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

А. Эддингтон

В истории науки известны две концепции пространства: пространство неизменное какместилище материи (взгляд Нью-

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

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

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

Наступление состояния невесомости при свободном падении обусловлено весьма важным физическим фактором, а именно равенством инертной и гравитационной (тяжелой) масс тела. Инертная масса характеризует инертные свойства тела, а гравитационная масса — силу, с которой тела притягиваются по закону Ньютона. Как их связать? Например, ускоренное движение лифта в поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего же наблюдателя в лифте имеется покой. Но их соотношение, т. е. поле тяготения, делающее описание в

обеих системах координат возможным, основывается на одной очень важной опоре называемой принципом эквивалентности. **Принципом эквивалентности** называется утверждение о том, что в некоторой системе отсчета тяжелая и инертная масса эквивалентны. Эквивалентность тяжелой и инертной масс означает эквивалентность ускорения и поля тяготения. Таков был путь Эйнштейна к принципу эквивалентности — центральному стержню общей теории относительности.

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

В течение продолжительного времени казалось совершенно естественным и логичным описывать свойства пространства с помощью геометрии, важнейшие элементы которой сформулировал еще в начале III в до н. э. древнегреческий математик

Евклид. В его геометрии, в частности, сумма углов треугольника равна 180° , а на плоскости через каждую точку, которая не находится на заданной прямой, можно провести только одну параллельную ей прямую.

Однако плоская геометрия Евклида оказалась частным случаем сферической геометрии, когда кривизна пространства равна нулю. Возможны случаи пространств с положительной и отрицательной кривизной. Геометрия пространства с положительной кривизной характерна сферической поверхности, на которой кратчайшим расстоянием между двумя точками являются дуги больших кругов, передвигаясь по которым мы вернемся к исходной точке. Такой тип геометрии разработан в 1854 г. немецким математиком Бернгардом Риманом. Здесь сумма углов в треугольнике больше 180° . Геометрия пространства с отрицательной кривизной имеет сферические линии с бесконечной протяженностью. Эта геометрия разработана в 1826 г. Н. Лобачевским. Сумма углов в сферическом треугольнике Лобачевского меньше 180° . Неевклидовы геометрии Лобачевского и Римана позволили связать ряд физических закономерностей с геометрическими свойствами тех или иных областей пространства.

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

Одно из следствий общей теории относительности состоит в том, что свет, обладая инертной массой, теряет энергию на

преодоление гравитационного притяжения испускающего его тела и что потеря светом энергии означает увеличение длины его волны. Этот эффект называется **гравитационным красным смещением**. Не следует путать красное смещение, которое вызвано полем тяготения, с космологическим красным смещением, обусловленным расширением Вселенной. Гравитационное красное смещение является прямым следствием замедления течения времени в гравитационных полях. Такое смещение наблюдается в спектральных линиях Солнца и тяжелых звезд, например Сириуса.

Таким образом, атомные часы на поверхности Солнца идут медленнее тех же самых часов у нас, на Земле. Как и следовало ожидать, общая теория относительности предсказывает, что все часы в поле силы тяжести должны замедлять свой ход. Если два совершенно идентичных экземпляра часов на Земле поместить друг от друга на расстоянии 1 м по высоте, то нижние часы будут ежесекундно отставать на 10^{-16} с. Впервые эталоны частоты, обладающие такой точностью, были созданы в 1960 г. на основе явления испускания фотонов радиоактивными ядрами в кристалле. Это явление, позволяющее достичь такой точности измерения частоты, получило название эффекта Мессбауэра. С помощью новых эталонов частоты в лабораторных условиях было показано, что сила тяжести действительно замедляет время. Впервые такие эксперименты были выполнены в 1960 г. в Гарвардском университете.

Кроме того, имеются еще три экспериментальных результата, подтверждающих общую теорию относительности и полученных несколько десятилетий назад. Это — искривление звездного света около Солнца, красное смещение в спектрах тяжелых звезд (выше нами отмечалось) и движение перигелия планеты Меркурий.

Равенство массы тяготения и инертной массы является одним из важных результатов общей теории относительности, которая считает равноценными для описания законов природы все системы отсчетов, а не только инерциальные. Общая теория относительности распространяет законы природы на все, в

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

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

Итак, теория относительности основывается на постулатах постоянства скорости света и одинаковости законов природы во всех физических системах, а основные результаты,

к которым она приводит, таковы: относительность свойств пространства-времени; эквивалентность тяжелой и инертной масс (следствие, отмеченное еще Галилеем, что все тела независимо от их состава и массы падают в поле тяготения с одним и тем же ускорением). С философской точки зрения наиболее значительным результатом общей теории относительности является установление зависимости пространственно-временных свойств окружающего мира от расположения и движения тяготеющих масс.

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

В 1967 г. была выдвинута гипотеза о наличии тахионов — частиц, которые движутся со скоростью, большей скорости света. Если эта гипотеза когда-нибудь подтвердится, то возможно, что из очень неуютного для обычного человека мира относительности, в котором постоянна только скорость света, мы снова вернемся в более привычный мир, в котором абсолютное пространство напоминает надежный дом со стенами и крышей. Но пока это только мечты, о реальной осуществимости которых можно будет говорить, наверное, только в третьем тысячелетии.

ВЫВОДЫ

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

2. Чтобы объяснить особенности распространения света в инерциальных системах отсчета, Эйнштейн предложил свою теорию относительности. В специальной теории относительности

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

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

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

Вопросы для контроля знаний

1. *Что понимается под пространством и временем?*
2. *Приведите формулировку принципа относительности для законов механики.*
3. *Что нового вносит специальная теория относительности в прежний принцип относительности классической механики?*
4. *Почему специальная теория относительности постулирует постоянство скорости света?*
5. *Как изменяется характер времени в движущейся и покоящейся инерциальных системах отсчета? Объясните, исходя из этого, парадокс близнецов.*
6. *Чем отличается поле тяготения от других физических полей?*
7. *В чем заключается единство и различие между специальной и общей теориями относительности?*
8. *Как была проверена правильность общей теории относительности?*
9. *Почему луч света искривляется вблизи тяготеющих масс?*
10. *Объясните, что представляет собой кривизна пространства.*
11. *К каким новым философским выводам приводит теория относительности?*

Глава 5. СТРОЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА

*Границ научного познания и
предсказания предвидеть
невозможно.*

Д. И. Менделеев

5.1. Структурное строение материального мира

В окружающем нас пространстве материя существует в форме вещества и поля. Вещество в природе находится в виде различных структур, которые определяют строение и свойства окружающего нас материального мира. Слово "строение" в данном случае отражает лестницу объектов, качественно отличающихся или характеризующихся степенью сложности.

Окружающий нас мир современная наука разделяет на три области: микромир, макромир и мегамир (рис. 5.1). Это стало возможным в результате многовекового изучения природы человеком. Микромир — это область природы, доступная человеку через посредство приборов (микроскопы, рентгеноанализ и др.). Закономерности здесь для нас непонятны, и мы экстраполируем сюда наши понятия. Макромир — это область природы, доступная нам, т. е. область наших закономерностей. Мегамир нам труднодоступен; это область крупных объектов, больших размеров и расстояний между ними. Эти закономерности мы изучаем опосредованно. В этих областях имеется следующая иерархия объектов: микромир — это вакуум, элементарные частицы, ядра, атомы, молекулы, клетки; макромир — это макротела (твердые тела, жидкости, газы, плазма), индивид, вид, популяция, сообщество, биосфера; мегамир — это планеты, звезды, галактики, Метагалактика, Вселенная.



Рис. 5.1. Структурное строение мира

5.2. Краткая характеристика микромира

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

К. Тимирязев

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

фундаментальных постоянных. В одной из таких областей, видимо случайно, получился набор, годный для появления разумных существ. В ней мы и живем. О других вселенных мы пока ничего не знаем и можем лишь догадываться об их существовании.

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

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

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

Объединение релятивистских и квантовых представлений, осуществленное в значительной степени еще в 30-е годы, привело к одному из наиболее выдающихся предсказаний в физике — открытию мира античастиц. Частица и соответствующая ей античастица имеют одинаковые времена жизни, одинаковые массы, их электрические заряды равны, но противоположны по знаку. Самым характерным свойством пары частица-античастица является способность аннигилировать (самоуничтожаться) при встрече с превращением в частицы другого рода. Античастицы

могут собираться в антивещество. Несмотря на микроскопическую симметрию между частицами и античастицами, во Вселенной не обнаружены области со сколько-нибудь заметным содержанием антивещества. Частицы и их античастицы одинаково взаимодействуют с полем тяготения, что указывает на отсутствие "антигравитации".

Ядра. Атомные ядра — это связанные системы протонов и нейтронов. Массы ядер всегда несколько меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов, составляющих ядро. Это релятивистский эффект, определяющий энергию связи ядра. Известны ядра с зарядом, равным от одного заряда протона до 109 зарядов протона и с числом протонов и нейтронов (т. е. нуклонов) от 1 до примерно 260. Особенно устойчивыми ядрами, т. е. обладающими наибольшей энергией связи, являются ядра с числами протонов и нейтронов 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, называемых магическими. Плотность числа частиц в многонуклонных ядрах порядка 10^{44} нуклонов/м³, а плотность массы 10^{17} кг/м³. "Радиусы" ядер изменяются от 2×10^{-15} м (ядро гелия) до 7×10^{-15} м (ядро урана). Ядра имеют форму вытянутого или сплюснутого эллипсоида (или еще более сложную).

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

Атомы. Они состоят из плотного ядра и электронных орбит. Ядра имеют положительный электрический заряд и окружены роем отрицательно заряженных электронов. В целом атом электронейтрален. Атом есть наименьшая структурная единица химических элементов. В отличие от "плотной упаковки" ядерных частиц атомные электроны образуют весьма рыхлые и ажурные оболочки. Существуют жесткие правила "заселенности" электронами орбит вокруг ядра. Электроны, находя-

щиеся на самых верхних этажах "атомного дома", определяют реакционную способность атомов, т. е. их способность вступать в соединение с другими атомами. Здесь мы вступаем в область химии, и условность границ раздела между физикой и химией в данном случае очевидна. У большинства элементов атомы химически нестабильны. Атом стабилен, если его внешняя оболочка заполнена определенным числом электронов (2,8 и др.). Атомы с незаполненными внешними оболочками вступают в химические реакции, образуя связи с другими атомами.

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

Некоторые атомы (например, углерода и водорода) способны образовывать сложные молекулярные цепи, являющиеся основой для образования еще более сложных структур (макромолекул), которые проявляют уже биологические свойства, т. е. свойства живого (рис. 5.2).

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

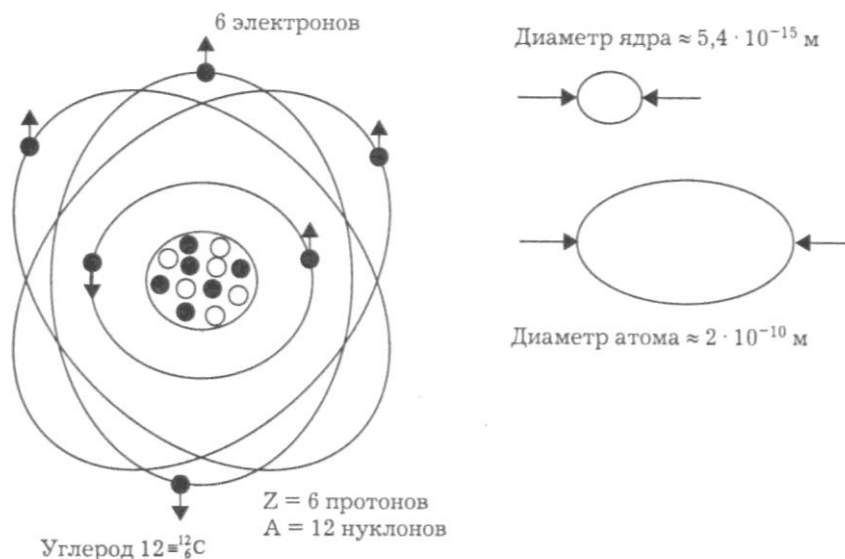


Рис. 5.2. Модель атома углерода

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

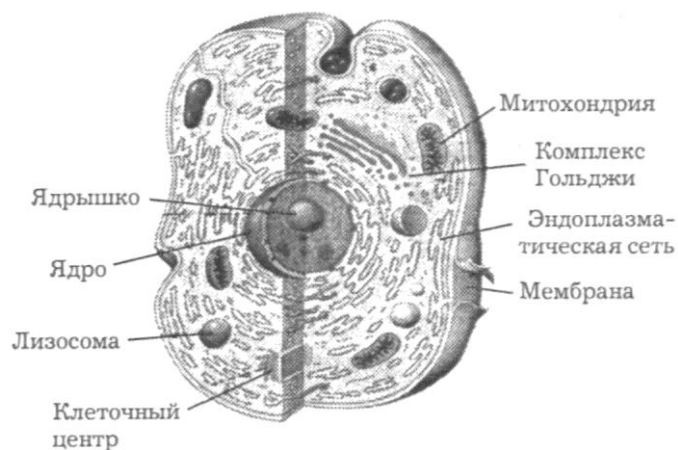


Рис. 5.3. Строение животной клетки

5.3. Краткая характеристика макромира

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

Калил Гибран

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

веществ можно объяснить и предсказать на основе их состава и строения.

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

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

Вещество чистое — вещество, состоящее из одинаковых частиц (молекул, атомов, ионов), обладающее определенными специфическими свойствами. Для очистки веществ от примесей используют различные методы: перекристаллизацию, дистилляцию, фильтрование.

Вещества неорганические — это химические соединения, образуемые всеми химическими элементами (кроме соединений углерода, относящихся к органическим веществам). Неорганические вещества образуются на Земле и в космосе под воздействием природных физико-химических факторов. Известно около 300 тысяч неорганических соединений. Они образуют практически всю литосферу, гидросферу и атмосферу Земли. В их состав могут входить атомы всех химических элементов, известных в настоящее время, в различных сочетаниях и количественных соотношениях. Кроме того, огромное количество неорганических веществ получают в научных лабораториях и на химических предприятиях искусственно. Все неорганические вещества делятся на группы со сходными свойствами (классы неорганических соединений). Ныне известно более ста химических элементов. Из них образовались более десяти миллионов химических соединений или веществ. Из всех веществ 96% составляют органические соединения, образованные из 6-18 элементов. Остальные 95–99 химических элементов образовали 300 тыс. неорганических соединений.

Основу живых веществ составляют только шесть элементов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, общая ве-

совая доля которых в организмах составляет 97,4%. Остальные 12 элементов являются физиологически важными компонентами биосистем: натрий, калий, кальций, магний, железо, алюминий, кремний, хлор, медь, цинк, кобальт, весовая доля которых составляет 1,6%.

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

Структурные уровни материи приведены в табл. 5.1.

Индивид. Жизнь всегда представлена в виде дискретных индивидуумов. Это в равной мере присуще микроорганизмам,

Таблица 5.1

Структурные уровни материи

Неорганическая природа	Живая природа	Общество
Субмикроэлементарный Микроэлементарный Ядерный Атомный Молекулярный Макроуровень Мегауровень (планеты, звездно-планетные системы, галактики) Мегауровень	Биологический Клеточный Микроорганический Органы и ткани Организм в целом Популяция Биогеноценоз Биосфера	Индивид Семья Коллективы Большие социальные группы (классы, нации) Государство (гражданское общество) Системы государства Человечество в целом Ноосфера

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

все особи вида имеют общую генетическую программу, которая возникла в ходе предшествующей эволюции. Виды определяются не столько различиями, сколько обособленностью. Из биологической концепции вида вытекают критерии, позволяющие отличать один вид от другого: 1. Морфологический критерий вида есть характеристика особенностей строения, совокупность его признаков. 2. Генетический критерий утверждает, что каждый вид имеет свойственный ему набор хромосом, характеризующийся определенным числом хромосом, их структурой и дифференциальной окраской. 3. Эколого-географический критерий вида включает как ареал обитания, так и непосредственную среду обитания вида — его экологическую нишу. 4. К важнейшей характеристике вида, размножающегося половым путем, относится репродуктивная изоляция. Он является результатом эволюции всей генетической системы данного вида и охраняет его от проникновения генетической информации извне. Итак, каждый критерий в отдельности недостаточен для определения вида, только в совокупности они позволяют точно выяснить видовую принадлежность живого организма. Наиболее существенной характеристикой вида является то, что он представляет собой генетически единую систему.

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

Популяция. Совокупность особей одного вида, длительно населяющих определенное пространство, размножающихся путем свободного скрещивания и в той или иной степени изолированных друг от друга, называют популяцией. В генетическом смысле популяция — это пространственно-временная группа скрещивающихся между собой особей одного вида. Популяция является элементарной биологической структурой, способной к эволюционным изменениям. Популяции оказываются элементарными единицами, а виды — качественными этапами процесса эволюции. Совокупность генотипов всех особей популяции об-

разует генофонд. Популяции и виды, несмотря на то что состоят из множества особей, целостны. Целостность популяций и видов связана с взаимодействием особей в популяциях и поддерживается обменом генетического материала в процессе полового размножения. Популяции и виды всегда существуют в определенной среде, включающей как биотические, так и абиотические компоненты. Конкретная среда протекания процесса эволюции, идущего в отдельных популяциях, — сообщество, биоценоз.

Сообщество. Популяции разных видов всегда образуют в биосфере Земли сложные сообщества — биоценозы. **Биоценоз** — совокупность растений, животных, грибов и прокариот, населяющих участок суши или водоема и находящихся в определенных отношениях между собой. Вместе с конкретными участками земной поверхности, занимаемыми биоценозами, и атмосферой сообщество составляет экосистему. **Экосистема** — взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом веществ и энергий. **Биогеоценоз** — это такая экосистема, внутри которой не проходят биогенетические, микроклиматические, почвенные и гидрологические границы. Биогеоценоз — одна из наиболее сложных природных систем. Внешне заметные границы биогеоценозов чаще всего совпадают с границами растительных сообществ. Все группы экосистемы — продукт совместного исторического развития видов, различающихся по систематическому положению. Первичной основой для сложения биогеоценозов служат растения и прокариоты — продуценты органического вещества (автотрофы). В ходе эволюции до заселения растениями и микроорганизмами определенного пространства биосферы не могло быть и речи о заселении его животными. Растения и прокариоты представляют жизненную среду для животных-гетеротрофов. Биогеоценозы — среда для эволюции входящих в них популяций. Популяции разных видов в биогеоценозах взаимодействуют друг на друга по принципу прямой и обратной связи. В целом жизнь биогеоценоза регулируется в основном силами, действующими внутри самой системы, т. е. можно говорить о саморегуляции биогеоценоза. Автономность и саморегуляция биогеоценоза оп-

ределяют его ключевое положение в биосфере нашей планеты как элементарной единицы на биогеоценотическом уровне.

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

5.4. Краткая характеристика мегамира

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

Академик Ф. А. Бредихин

Планеты. Начальной ступенью в иерархии объектов мегамира являются планеты (в переводе с греческого — "блуждающие"). Планеты — это небесные тела, обращающиеся обычно вокруг звезд, отражающие их свет и не имеющие собственного

видимого излучения. По размерам и массам они значительно меньше звезд. Земля меньше Солнца по размеру в 109 раз, а по массе 333 000 раз. Многие планеты имеют спутники, обращающиеся вокруг них. Одной из планет является Земля. Спутником Земли является Луна. Земля входит в состав планет Солнечной системы. В Солнечной системе 9 больших планет: Меркурий, Венера, Земля с Луной, Марс с Фобосом и Деймосом, Юпитер с 16 спутниками, Сатурн с 17 спутниками, Уран с 16 спутниками, Нептун с 10 спутниками, Плутон с Хароном¹. Между орбитами Марса и Юпитера находятся более 5000 малых планет. Солнечной системе принадлежат также кометы и метеорные тела. В настоящее время неизвестно, имеются ли в Солнечной системе планеты, еще более удаленные от Солнца, чем Плутон; Можно только утверждать, что если такие планеты и есть, то они сравнительно невелики.

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

Звезды. Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются звезды. Изученная нами часть окружающего пространства заполнена огромным количеством звезд — самых больших небесных тел, подобных нашему Солнцу, вещество которых находится в состоянии плазмы. Они имеют собственные видимые излучения и характеризуются различными размерами, массами, светимостями и временами жизни. По размерам есть звезды больше Солнца в 1000 раз и составляющие 0,003 доли размера Солнца. По массе есть звезды массивнее Солнца до 80 раз, а есть составляющие до 0,05 доли массы Солнца. На поверхности Солнца температура составляет 6000 К. Некоторые звезды имеют на поверхности температуру 50 000 К, а другие всего 3000 К. Возраст звезд со-

¹ 24 августа 2006 г. 26-й генеральной ассамблеей Международного астрономического союза было принято решение перевести Плутон в разряд карликовых планет. Ему как рядовому астероиду присвоили номер 134 340.

ставляет от 10 млн до 100 млрд лет. Центральные области звезд и Солнца характеризуются температурой более 10^7 К и давлением - 10^{11} атм. При этом становятся возможными термоядерные реакции, результатом которых является слияние ядер водорода и превращение их в ядра гелия. Эта ядерная реакция служит источником энергии звезд.

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

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

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

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

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

открываемых внегалактических туманностей растет с каждым годом. Современным средствам астрономических исследований доступна колоссальная область пространства диаметром около 10 млрд световых лет.

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

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

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

ВЫВОДЫ

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

2. В современной науке все более четко отражается мысль о сложной микроструктуре вакуума. Применение квантовой

теории к электромагнитному полю и полям, описывающим частицы в вакууме, привело Дирака к предсказанию существования античастиц и формированию нового взгляда на пустоту.

3. Ядра — это связанные системы протонов и нейтронов, т. е. элементарных частиц. Атом есть наименьшая структурная единица химического элемента. С развитием науки было установлено, что атом имеет "планетарную" модель строения, т. е. состоит из ядра и обращающихся вокруг него электронных орбит. Учение об атомистическом строении материи, связанное с делимостью веществ, зародилось еще в древности. Молекула является наименьшей структурной единицей сложного химического соединения — вещества.

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

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

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

7. Следующей ступенью в иерархии объектов природы являются макротела астрономического масштаба — планеты. Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются звезды — небесные тела, подобные нашему Солнцу и находящиеся в состоянии плазмы. Солнце,

звезды и звездные скопления, наблюдаемые на небе, образуют систему, которую мы называем нашей Галактикой. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики. Галактики имеют тенденцию располагаться по границам гигантских ячеек. Ячеистая структура распределения галактик является наиболее крупной структурой Метагалактики — видимой части Вселенной. Система галактик и их скоплений называются Метагалактикой. Под Вселенной понимают весь окружающий нас известный нам и неизвестный мир, который мы можем познать.

Вопросы для контроля знаний

1. Каково структурное строение микромира, макромира и мегамира?
2. Что собой представляет по современным научным концепциям вакуум?
3. Элементарными частицами чего являются атом и молекула?
4. Расскажите что такой кварк.
5. Как классифицирует современная наука элементарные частицы?
6. Какие агрегатные состояния материи вам известны?
7. Какие закономерности обнаружены в строении, движении и свойствах Солнечной системы?
8. Какие основные параметры, определяющие свойства звезд?
9. Как распределены галактики во Вселенной?
10. Чем отличаются понятия Метагалактика и Вселенная?

Глава 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДВИЖЕНИЕ СТРУКТУР МИРА

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

Ж. Л. Д'Аламбер

6.1. Четыре вида взаимодействий и их характеристика

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

В природе существуют качественно различные системы связанных объектов. Ядра — связанные системы протонов и нейтронов; атомы — связанные ядра и электроны; макротела — совокупность атомов и молекул; Солнечная система — "связка" планет и массивной звезды; галактика — "связка" звезд. Наличие связанных систем объектов говорит о том, что должно существовать нечто такое, что скрепляет части системы в целое. Чтобы "разрушить" систему частично или полностью, нужно затратить энергию. Взаимное влияние частей системы или структурных единиц происходит посредством полей (гравитационного, электрического, магнитного и других) и характеризуется энергией взаимодействия. В настоящее время принято считать,

что любые взаимодействия каких угодно объектов могут быть сведены к ограниченному классу четырех основных видов фундаментальных взаимодействий: сильному, электромагнитному, слабому и гравитационному. Интенсивность взаимодействия принято характеризовать с помощью так называемой константы взаимодействия, которая представляет собой безразмерный параметр, определяющий вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия. Отношение значений констант дает относительную интенсивность соответствующих взаимодействий. Кратко охарактеризуем каждый из этих четырех видов взаимодействий.

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

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

Слабое взаимодействие. Это взаимодействие ответственно за все виды β -распада ядер (включая e -захват), за многие распады элементарных частиц, а также за все процессы взаимодействия нейтрино с веществом. Константа взаимодействия равна по порядку величины 10^{-15} . Слабое взаимодействие, как и сильное,

является короткодействующим. Как отмечалось, из большого списка элементарных частиц только электрон, протон, фотон и нейтрино всех типов являются стабильными. Под влиянием "внутренних причин" нестабильные свободные частицы за те или иные характерные времена превращаются в другие частицы. Медленные распады с характерным временем 10^{-10} — 10^{-6} с происходят за счет так называемого слабого взаимодействия, тогда как быстрый распад (10^{-16} с) происходит под влиянием электромагнитных взаимодействий.

Гравитационные взаимодействия (тяготения). Притяжение тел к Земле, существование Солнечной системы, звездных систем (галактик) обусловлено взаимодействием сил тяготения, или иначе — гравитационными взаимодействиями. Эти взаимодействия универсальны, т. е. применимы к любым микро- и макрообъектам. Однако они существенны лишь для тел огромных астрономических масс и для формирования структуры и эволюции Вселенной как целого. Гравитационные взаимодействия очень быстро ослабевают для объектов с малыми массами и практически не играют роли для ядерных и атомных систем. Проявления гравитации количественно были изучены одними из первых. Это не случайно, ибо источником гравитации являются массы тел, а дальность гравитационного взаимодействия не ограничена. Константа взаимодействия имеет значение порядка 10^{-39} . Радиус действия не ограничен ($r = \infty$). Гравитационное взаимодействие является универсальным, ему подвержены все без исключения элементарные частицы. Однако в процессах микромира гравитационное взаимодействие ощутимой роли не играет. Характеристики видов взаимодействий приведены в табл. 6.1. В вопросах строения и развития мира как целого роль гравитации становится определяющей. Исследование же конкретных небесных объектов (звезд, пульсаров, квазаров и др.) невозможно без привлечения всех видов фундаментальных взаимодействий.

Несомненно, приведенная классификация взаимодействий отражает современный уровень развития науки. В будущем, возможно, взаимодействия будут либо объединены, либо их останется меньше, если обнаружатся связи между константами

Таблица 6.1

Взаимодействия в природе

Вид взаимодействия	Сила взаимодействия (относительные единицы)	Полевой квант	Безразмерная константа взаимодействия	Область проявления
Сильные (ядерные)	1	Пионы Глюоны	$\alpha_s = g_s^2/(hc)$ $\alpha_s = 1/\ln(q^2/\Lambda^2)$	Атомные ядра Фундаментальные частицы
Электромагнитные	10^{-3}	Фотоны	$\alpha = e^2/(hc)$	Атомы, электротехника
Слабые	10^{-15}	$Z^0, W(\pm)$ — бозоны	$\alpha_w = g_w^2/(hc)$	Радиоактивный распад, распадные процессы
Гравитационные	10^{-39}	Гравитон	$\alpha_G = g_G^2/(hc)$	Массивные тела и фотон

взаимодействия. Например, уже удалось описать в рамках единой теории электромагнитное и слабое взаимодействия. Между константами взаимодействия и характеристиками Вселенной существует какая-то удивительная зависимость. Например, отношение радиуса Метагалактики ($R = 5 \times 10^{27}$ см) к размерам атома равно отношению электромагнитных и гравитационных сил, действующих между элементарными частицами.

6.2. Концепции близкодействия и дальнодействия

Наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными.

А. Эйнштейн

Близкодействие и дальнодействие—это взаимно противоположные взгляды для объяснения взаимодействия материальных

структур. По концепции **близко действия** любое взаимодействие на материальные объекты может быть передано только между соседними точками пространства за конечный промежуток времени. **Дальнодействие** допускает действие на расстоянии мгновенно с бесконечной скоростью, т. е. фактически вне времени и пространства. После Ньютона эта концепция получает широкое распространение в физике, хотя он сам понимал, что введенные им силы дальнодействия (например, силы тяготения) являются лишь формальным приближенным приемом, позволяющим дать верное в некоторых пределах описание наблюдаемых явлений. Окончательное утверждение принципа близкодействия пришло с выработкой концепции физического поля как материальной среды. Уравнения поля описывают состояние системы в данной точке в данный момент времени как зависящее от состояния в ближайший предшествующий момент в ближайшей соседней точке. Если электромагнитное поле может существовать независимо от материального носителя, то электрическое взаимодействие нельзя объяснить мгновенным действием на расстоянии. Поэтому дальнодействие Ньютона уступило место близкодействию, полям, распространяющимся в пространстве с конечной скоростью. Таким образом, согласно современной науке, взаимодействия между структурами передаются посредством соответствующего поля с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме.

6.3. Вещество, поле, вакуум. Принцип суперпозиции

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

Из Екклесиаста

Вся совокупность элементарных частиц с их взаимодействиями проявляет себя макроскопически в форме вещества и

поля. Поле в отличие от вещества обладает особыми свойствами. Физическая реальность электромагнитного поля видна хотя бы из того, что существуют радиоволны. Источником электромагнитного поля являются движущиеся заряженные частицы. Взаимодействие зарядов происходит по схеме: частица — поле — частица. Поле является переносчиком взаимодействия. В некоторых условиях поле может "оторваться" от своих источников и свободно распространяться в пространстве. Такое поле носит волновой характер.

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

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

время предпринимаются настойчивые попытки создать единую теорию всех видов взаимодействий.

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

6.4. Фундаментальные постоянные мироздания

Порядок — первый закон Небес.

Александр Поп

Фундаментальные мировые постоянные — это такие константы, которые дают информацию о наиболее общих, основополагающих свойствах материи. К таковым, например, относятся G , c , e , h , m_e и др. Общее, что объединяет эти константы, — это содержащаяся в них информация. Так, гравитационная постоянная G является количественной характеристикой универсального, присущего всем объектам Вселенной взаимодействия — тяготения. Скорость света c есть максимально возможная скорость распространения любых взаимодействий в природе. Элементарный заряд e — это минимально возможное значение электрического заряда, существующего в природе в свободном состоянии (обладающие дробными электрическими зарядами кварки, по-видимому, в свободном состоянии существуют лишь в сверхплотной и горячей кварк-глюонной плазме).
Постоянная

Планка h определяет минимальное изменение физической величины, называемое действием, и играет фундаментальную роль в физике микромира. Масса покоя m_e электрона есть характеристика инерционных свойств легчайшей стабильной заряженной элементарной частицы.

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

Сами фундаментальные постоянные c , h , e , G и др. являются едиными для всех участков Метагалактики и с течением времени не меняются, по этой причине их называют мировыми постоянными. Некоторые комбинации мировых постоянных определяют нечто важное в структуре объектов природы, а также формируют характер ряда фундаментальных теорий.

$$\text{Так, } \frac{\hbar^2}{m_e c^2}, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

определяет размер пространственной оболочки для атомных явлений (здесь m_e — масса электрона), а

$$\frac{m_e c^4}{\hbar^2}$$

— характерные энергии для этих явлений; квант для крупномасштабного магнитного потока в сверхпроводниках задается величиной

$$\frac{hc}{e};$$

предельная масса стационарных астрофизических объектов определяется комбинацией:

$$\left(\frac{c\hbar}{G} \right)^{3/2} \cdot m_N^{-2},$$

где m_N — масса нуклона;

весь математический аппарат квантовой электродинамики основан на факте существования малой безразмерной величины

$$\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137},$$

определяющей интенсивность электромагнитных взаимодействий.

Анализ размерностей фундаментальных постоянных приводит к новому пониманию проблемы в целом. Отдельные размерные фундаментальные постоянные, как уже отмечалось выше, играют определенную роль в структуре соответствующих физических теорий. Когда речь идет о выработке единого теоретического описания всех физических процессов, формирования единой научной картины мира, размерные физические постоянные уступают место безразмерным фундаментальным константам таким как α_s , α_e , α_w , α_g , m_c/m_d и $m_n - m_p$. Роль этих постоянных в формировании структуры и свойств Вселенной очень велика. Постоянная тонкой структуры α_e является количественной характеристикой, одного из четырех видов фундаментальных взаимодействий, существующих в природе — электромагнитного. Помимо электромагнитного взаимодействия другими фундаментальными взаимодействиями являются гравитационное, сильное и слабое. Существование безразмерной константы электромагнитного взаимодействия

$\alpha_s = e^2 / (\hbar c) \approx 1/137$ предполагает, очевидно, наличие аналогичных безразмерных констант, являющихся характеристиками остальных трех типов взаимодействий. Эти константы также характеризуются следующими безразмерными фундаментальными постоянными — константа сильного взаимодействия $\alpha_s \approx 1$ — константа слабого взаимодействия:

$$\alpha_w = \frac{g_f m_p c^2}{\hbar^3} \approx 10^{-15},$$

где величина $g_f = 10^{-5} / m_d \approx 10^{-61}$ дж · м³ — постоянная Ферми для слабых взаимодействий;

константа гравитационного взаимодействия:

$$\alpha_g = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-39}.$$

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

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

Таким образом, "классические" размерные фундаментальные постоянные играют определяющую роль в структуре соответствующих физических теорий. Из них формируются фундаментальные безразмерные постоянные единой теории взаимодействий — α_s , α_e , α_w , α_g . Эти константы и некоторые другие, а также размерность пространства N определяют структуру Вселенной и ее свойства.

6.5. Антропный космологический принцип

Религия всегда оказывается права. Она разрешает все вопросы и, следовательно, снимает все вопросы в мире. Религия придает нам уверенность, незыблемость, умиротворение и сознание абсолютности. Она защищает нас от прогресса, который всех нас приводит в трепет. Наука поступает совсем наоборот. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десяток новых.

Б. Шоу

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

Почему из бесконечной области всевозможных значений фундаментальных мировых постоянных, характеризующих физические взаимодействия, и бесконечного разнообразия начальных условий, которые могли существовать в очень ранней Вселенной, реализуются величины и условия, приводящие к вполне конкретному набору особенностей, наблюдаемых нами? В пространстве N измерений точечные источники взаимодействуют с силой $F \sim 1/r^{n-1}$, где r — расстояние между источниками. Можно показать, что устойчивые движения двух тел, взаимодействующих по такому закону, отсутствуют при $N > 3$. Еще в 20-е годы XX столетия П. Эренфест показал, что если бы число пространственных координат N было равно четырем, то не су-

существовало бы замкнутых орбит планет и, естественно, Солнечной системы и человека. При $N = 4$ была бы невозможна также атомная структура вещества. При $N < 2$ движение происходит в ограниченной области. Только при $N = 3$ возможны как связанные, так и несвязанные движения, что как раз и реализуется в наблюдаемой Вселенной.

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

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

Современная структура Вселенной очень жестко обусловлена величиной $\Delta m = m_n - m_p$, т. е. разницей в массах нейтрона и протона. Разность очень мала и составляет всего около 10^{-3} от массы протона. Однако если бы она была в три раза больше, то во Вселенной не мог бы происходить нуклеосинтез и в ней не было бы сложных элементов. Увеличение константы сильного взаимодействия всего на несколько процентов привело бы к тому, что уже в первые минуты расширения Вселенной водород полностью бы выгорел и основным элементом в ней стал бы гелий.

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

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

Вселенную, но вполне возможно, что в каких-то метagalактиках есть и разумные существа.

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

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

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

6.6. Характер движения структур мира

*Не мир запутался, к несчастью,
Мы сами путаемся в нем.*

М. Гамидов

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

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

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

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

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

находящееся на данной структурной лестнице движения, обладает всеми скоростями предыдущих уровней движения.

Движение представляет собой всеобщую форму существования материи, ее основной и необходимый способ деятельности. Движение есть способ существования материи. Материя и движения едины. Движение означает всякое изменение, превращение и переход из одного состояния материи в другое. Категория движения и взаимодействия близки по своему содержанию. Движение, как и материя, объективно и существует независимо от субъекта; характеризуется рядом общих следующих свойств:

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

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

Правомерно говорить о двух основных типах движения. Первый тип движения — это движение, когда сохраняется качество предмета, его устойчивость. Другой тип движения, связанный с изменением качественного состояния предмета, характеризуется как развитие. Выделяются две разновидности развития. Первая разновидность — это процессы качественных превращений, не выходящие за рамки соответствующего вида материи, определенного уровня ее организации. Вторая — процессы перехода от одного уровня к другому. Примером первой разновидности развития может служить эволюция звезд, формирование новых видов животных и растительных организмов,

последовательные стадии развития отдельных организмов. Примером второй разновидности является формирование из элементарных частиц атомов и молекул, переход от неорганической природы к биологическим уровням организации.

Соответственно иерархии структур материи существуют качественно разнообразные формы ее движения. В настоящее время в качестве основных выделяются такие формы движения, как взаимопревращения элементарных частиц и полей, ядерные превращения, внутриатомные процессы, химические превращения, молекулярные процессы, геологическая форма движения, органическая жизнь, общественная жизнь, различные космические процессы и т. д. Особое место в современных классификациях занимают так называемые общие формы движения (механическая, физическая, химическая, биологическая, тепловая, кибернетическая и др.), реализующиеся на различных структурных уровнях материи и представляющие собой общие способы существования, общие типы функционирования систем различной вещественной природы.

Различные формы и виды движения имеют структурное и генетическое единство. Современная классификация форм движения и взаимодействия материи следующая:

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

- космологическая форма движения (эволюция Вселенной);
- биологическая форма движения (обмен веществ, процессы, происходящие на клеточном уровне, наследственность и т. д.);
- социальная форма движения (процессы, происходящие в обществе);
- информационно-кибернетическая форма движения.

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

ВЫВОДЫ

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

интенсивно и проявляется при взаимодействии больших масс, радиус его действия не ограничен.

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

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

4. Сущность антропного космологического принципа состоит в том, что жизнь является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Из-за того что в очень ранней Вселенной реализовались величины и условия, приведшие к вполне конкретным значениям современных фундаментальных физических постоянных, характеризующих физические взаимодействия, стало возможным наличие известной нам Вселенной, и мы имеем способность познавать именно ее.

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

Будем надеяться, что в ближайшем будущем наука даст ответы на этот вопрос.

Вопросы для контроля знаний

- 1. Какие виды взаимодействий вы знаете и какие из них играют важнейшую роль в повседневной жизни и почему?*
- 2. Какие взаимодействия известны в микромире?*
- 3. Чем отличаются четыре вида взаимодействия?*
- 4. Что понимается под близкодействием и далекодействием?*
- 5. Как сказывается конечность скорости света на концепции близкодействия?*
- 6. Что такое пустота, или вакуум, как менялись взгляды на него?*
- 7. Каким образом происходят взаимопревращения вещество-поле, вещество-энергия, поле-вакуум?*
- 8. Дайте иерархию движения структур в мегамире.*
- 9. Какие формы движения вам известны?*
- 10. Какие фундаментальные мировые постоянные вам известны и что они выражают?*
- 11. В чем смысл антропного космологического принципа?*

Глава 7. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОМИРА

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

К. Маркс

7.1. Элементарные частицы

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

Под **элементарными частицами** можно понимать такие микрочастицы, внутреннюю структуру которых на современном уровне развития науки нельзя представить как совокупность других частиц. Во всех наблюдавшихся до сих пор явлениях каждая такая частица ведет себя как единое целое. Элементарные частицы могут превращаться друг в друга. Для того чтобы объяснить свойства и поведение элементарных частиц, их приходится наделять, кроме массы, электрического заряда и спина, рядом дополнительных, характерных для них величин (квантовых чисел). Как отмечалось нами выше, известны также четыре вида взаимодействий между элементарными частицами:

сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Интенсивность взаимодействия принято характеризовать с помощью так называемой константы взаимодействия, которая представляет собой безразмерный параметр, определяющий вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия. Отношение значений констант дает относительную интенсивность соответствующих взаимодействий.

Элементарные частицы обычно подразделяют на четыре класса. К одному из них относится только одна частица — фотон. Второй класс образуют лептоны, третий — мезоны и, наконец, четвертый класс — барионы. Мезоны и барионы часто объединяют в один класс сильно взаимодействующих частиц, называемых адронами (греческое "адрос" означает крупный, массивный). Дадим краткую характеристику перечисленных классов частиц.

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

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

3. Мезоны — сильно взаимодействующие нестабильные частицы, не несущие так называемого барионного заряда. К их числу принадлежат π -мезоны, или пионы (π^+, π^-, π^0), K-мезоны, или каоны (K^+, K^-, K^0), и эта-мезон (η). Масса K-мезонов составляет $\sim 970 m_e$ (494 МэВ для заряженных и 498 МэВ для нейтральных K-мезонов). Время жизни K-мезонов имеет величину порядка 10^{-8} с. Они распадаются с образованием π -мезонов и лептонов или только лептонов. Масса эта-мезонов равна 549 МэВ ($1074 m_e$), время жизни порядка 10^{-19} с. Эта-мезоны распадаются с обра-

зованием π -мезонов и γ -фотонов. В отличие от лептонов, мезоны обладают не только слабым (и, если они заряжены, электромагнитным), но также и сильным взаимодействием, проявляющимся при взаимодействии их между собой, а также при взаимодействии между мезонами и барионами. Спин всех мезонов равен нулю, так что они являются бозонами.

4. Класс **барионов** объединяет в себе нуклоны (р, п) и нестабильные частицы с массой большей массы нуклонов, получившие название гиперонов. Все барионы обладают сильным взаимодействием и, следовательно, активно взаимодействуют с атомными ядрами. Спин всех барионов равен $1/2$, так что барионы являются фермионами. За исключением протона, все барионы нестабильны. При распаде барионов наряду с другими частицами обязательно образуется барион. Эта закономерность является одним из проявлений закона сохранения барионного заряда.

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

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

Частицы и античастицы. В 1928 г. английскому физiku П. Дираку удалось найти релятивистское квантово-механическое уравнение для электрона, из которого вытекает ряд замечательных следствий. Прежде всего из этого уравнения естественным

образом, без каких-либо дополнительных предположений, получаются спин и числовое значение собственного магнитного момента электрона. Таким образом, выяснилось, что спин представляет собой величину одновременно и квантовую, и релятивистскую. Но этим не исчерпывается значение уравнения Дирака. Оно позволило также предсказать существование античастицы электрона — позитрона. Из уравнения Дирака получаются для полной энергии свободного электрона не только положительные, но и отрицательные значения. Исследования уравнения показывают, что при заданном импульсе частицы существуют решения уравнения, соответствующие энергиям:

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

Между наибольшей отрицательной энергией ($-m_e c^2$) и наименьшей положительной энергией ($+m_e c^2$) имеется интервал значений энергии, которые не могут реализоваться. Ширина этого интервала равна $2m_e c^2$. Следовательно, получаются две области собственных значений энергии: одна начинается от $+m_e c^2$ и простирается до $+\infty$, другая начинается от $-m_e c^2$ и простирается до $-\infty$.

Частица с отрицательной энергией должна обладать очень странными свойствами. Переходя в состояния со все меньшей энергией (т. е. с увеличивающейся по модулю отрицательной энергией), она могла бы выделять энергию, скажем, в виде излучения, причем, поскольку $|E|$ ничем не ограничен, частица с отрицательной энергией могла бы излучать бесконечно большое количество энергии. К аналогичному выводу можно прийти следующим путем: из соотношения $E = m_e c^2$ вытекает, что у частицы с отрицательной энергией масса будет также отрицательна. Под действием тормозящей силы частица с отрицательной массой должна не замедляться, а ускоряться, совершая над источником тормозящей силы бесконечно большое количество работы. Ввиду этих трудностей следовало, казалось бы, признать, что состояние с отрицательной энергией нужно исключить из рассмотрения как приводящее к абсурдным результатам. Это, однако, проти-

воречило бы некоторым общим принципам квантовой механики. Поэтому Дирак выбрал другой путь. Он предложил, что переходы электронов в состояния с отрицательной энергией обычно не наблюдаются по той причине, что все имеющиеся уровни с отрицательной энергией уже заняты электронами.

Согласно Дираку, вакуум есть такое состояние, в котором все уровни отрицательной энергии заселены электронами, а уровни с положительной энергией свободны. Поскольку заняты все без исключения уровни, лежащие ниже запрещенной полосы, электроны на этих уровнях никак себя не обнаруживают. Если одному из электронов, находящихся на отрицательных уровнях, сообщить энергию $E \geq 2m_0c^2$, то этот электрон перейдет в состояние с положительной энергией и будет вести себя обычным образом, как частица с положительной массой и отрицательным зарядом. Эта первая из предсказанных теоретически частиц была названа позитроном. При встрече позитрона с электроном они аннигилируют (исчезают) — электрон переходит с положительного уровня на вакантный отрицательный. Энергия, соответствующая разности этих уровней, выделяется в виде излучения и равна энергии аннигиляции. Термин "аннигиляция" не следует понимать буквально. По существу происходит не исчезновение, а превращение одних частиц (электрона и позитрона) в другие (γ -фотоны).

Существуют частицы, которые тождественны со своими античастицами (т. е. не имеют античастиц). Такие частицы называются абсолютно нейтральными. К их числу принадлежат фотон, π^0 -мезон и η -мезон. Частицы, тождественные со своими античастицами, не способны к аннигиляции. Это, однако, не означает, что они вообще не могут превращаться в другие частицы.

Если барионам (т. е. нуклонам и гиперонам) приписать барионный заряд (или барионное число) $B = +1$, антибарионам — барионный заряд $B = -1$, а всем остальным частицам — барионный заряд $B = 0$, то для всех процессов, протекающих с участием барионов и антибарионов, будет характерно сохранение барионного заряда, подобно тому как для процессов характерно сохранение электрического заряда. Закон сохранения барионного заряда

обуславливает стабильность самого мягкого из барионов — протона. Преобразование всех величин, описывающих физическую систему, при котором все частицы заменяются античастицами (например, электроны протонами, а протоны электронами и т. д.), называется зарядом сопряжения.

Странные частицы. К-мезоны и гипероны были обнаружены в составе космических лучей в начале 50-х гг. Начиная с 1953 г. их получают на ускорителях. Поведение этих частиц оказалось столь необычным, что они были названы странными. Необычность поведения странных частиц заключалась в том, что рождались они явно за счет сильных взаимодействий с характерным временем порядка 10^{-23} с, а времена жизни их оказались порядка 10^{-8} - 10^{-10} с. Последнее обстоятельство указывало на то, что распад частиц осуществляется в результате слабых взаимодействий. Было совершенно непонятно, почему странные частицы живут так долго. Поскольку и в рождении, и в распаде λ -гиперона участвуют одни и те же частицы (π -мезоны и протон), представлялось удивительным, что скорость (т. е. вероятность) обоих процессов столь различна. Дальнейшие исследования показали, что странные частицы рождаются парами. Это навело на мысль, что сильные взаимодействия не могут играть роли в распаде частиц вследствие того, что для их проявления необходимо присутствие двух странных частиц. По той же причине оказывается запрещенным одиночное рождение странных частиц.

Чтобы объяснить запрет одиночного рождения странных частиц, М. Гелл-Манн и К. Нишиджима ввели в рассмотрение новое квантовое число, суммарное значение которого должно, по их предположению, сохраняться при сильных взаимодействиях. Это квантовое число S было названо странностью частицы. При слабых взаимодействиях странность может не сохраняться. Поэтому она приписывается только сильно взаимодействующим частицам — мезонам и барионам.

Нейтрино. Нейтрино — единственная частица, которая не участвует ни в сильных, ни в электромагнитных взаимодействиях. Исключая гравитационное взаимодействие, в котором

участвуют все частицы, нейтрино может принимать участие лишь в слабых взаимодействиях.

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

Систематика элементарных частиц. Закономерности, наблюдаемые в мире элементарных частиц, могут быть сформулированы в виде законов сохранения. Таких законов накопилось уже довольно много. Некоторые из них, оказываются не точными, а лишь приближенными. Каждый закон сохранения выражает определенную симметрию системы. Законы сохранения импульса P , момента импульса L и энергии E отражают свойства симметрии пространства и времени: сохранение E есть следствие однородности времени, сохранение P обусловлено однородностью пространства, а сохранение L — его изотропностью. Закон сохранения четности связан с симметрией между правым и левым (P -инвариантность). Симметрия относительно зарядового сопряжения (симметрия частиц и античастиц) приводит к сохранению зарядовой четности (C -инвариантность).

Законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов выражают особую симметрию Φ -функции. Наконец, закон сохранения изотопического спина отражает изотропность изотопического пространства. Несоблюдение одного из законов сохранения означает нарушение в данном взаимодействии соответствующего вида симметрии.

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

Каждому кварку приписывается одинаковый магнитный момент $\mu_{\text{кв}}$, величина которого из теории не определяется. Расчеты, произведенные на основании такого предположения, дают для протона значение магнитного момента $\mu_p = \mu_{\text{кв}}$, а для нейтрона:

$$\mu_n = -\frac{2}{3}\mu_{\text{кв}}.$$

Таким образом, для отношения магнитных моментов получается значение

$$\frac{\mu_p}{\mu_n} = -\frac{3}{2},$$

превосходно согласующихся с экспериментальным значением.

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

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

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

7.2. Корпускулярно-волновая природа микрообъектов

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

В. И. Ленин

Микромир образуют микрочастицы, которыми являются элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны, фотоны и другие простые частицы), а также сложные частицы, образованные из сравнительно небольшого числа элементарных частиц (молекулы, атомы, ядра атомов и т. п.). Термин "микрочастица" отражает только одну сторону объекта, к которому он применяется. Всякий микрообъект (молекула, атом, электрон, фотон и т. д.) представляет собой образование особого рода, сочетающее в себе свойства и частицы, и волны. Может быть, правильнее было бы называть его "частицей-волной". Микрообъект не способен воздействовать непосредственно на наши органы чувств — ни видеть, ни осязать его нельзя. Ничего подобного микрообъектам в воспринимаемом нами мире не существует. Микротела не похожи ни на что из того, что нам хоть когда-нибудь приходилось видеть.

Раз поведение атомов так непохоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физику — всем оно кажется своеобразным и туманным. Даже большие ученые не понимают его настолько, как им хотелось бы, и это совершенно естественно, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция — все прилагается к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца не поступают. Поэтому, изучая их, приходится прибегать к различного рода абстракциям, напрягать воображение и не пытаться связывать их с нашим непосредственным опытом. В доквантовой физике "понять" означало составить себе наглядный образ объекта или процесса. Квантовую физику нельзя понять в таком смысле слова. Всякая наглядная модель неизбежно будет действовать по

классическим законам и поэтому непригодна для представления квантовых процессов. Поэтому самое правильное, что можно сделать, — это отказаться от попыток строить наглядные модели поведения квантовых объектов. Отсутствие наглядности поначалу может вызвать чувство неудовлетворенности, но со временем это чувство проходит, и все становится на свои места.

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

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

Фотоэлектрическим эффектом, или фотоэффектом, называется испускание электронов веществом под действием света. В 1905 г. А. Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет поглощается такими же порциями (квантами) энергии $E = h\nu$, какими он, по предположению Планка, испускается. По мысли Эйнштейна,

энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается им целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода, т. е. наименьшей энергии, необходимой электрону, чтобы удалиться из тела в вакуум, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии образует кинетическую энергию E_k электрона, покинувшего вещество. В этом случае должно выполняться соотношение

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A,$$

которое называется формулой Эйнштейна. Отсюда вытекает, что в случае, когда работа выхода A превышает энергию кванта $h\nu$, электроны не могут покинуть металл. Следовательно, для возникновения фотоэффекта необходимо, чтобы энергия кванта была больше работы выхода. Частота ν_0 , ниже которой не наблюдается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. Эйнштейн выдвинул гипотезу, что свет распространяется в виде дискретных частиц, названных световыми квантами. Впоследствии эти частицы получили название фотонов. Энергия фотона определяется его частотой $E = h\nu$, масса покоя фотона равна нулю и фотон всегда движется со скоростью c . Сказанное означает, что фотон представляет собой частицу особого рода, отличную от таких частиц, как электрон, протон и т. п., которые могут существовать, двигаясь со скоростями, меньшими c , и даже покоясь.

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

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}.$$

Особенно отчетливо проявляются корпускулярные свойства света в явлении, которое получило название эффекта Комптона. В 1923 г. А. Комптон, исследуя рассеяние рентгеновских лучей различными веществами, обнаружил, что в рассеянных лучах

наряду с излучением первоначальной длины волны содержатся также лучи большей длины волны. Разность между этими длинами волн оказалась зависящей только от угла, образуемого направлением рассеянного излучения с направлением первичного пучка. От первоначальной длины волны и от природы рассеивающего вещества разность длин волн не зависит. Все особенности эффекта Комптона можно объяснить, рассматривая рассеяние как процесс упругого столкновения рентгеновских фотонов с практически свободными электронами. Свободными можно считать слабее всего связанные с атомами электроны, энергия связи которых значительно меньше той энергии, которую фотон может передать электрону при соударении.

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

Новый радикальный шаг в развитии физики был связан с распространением корпускулярно-волнового дуализма на мельчайшие частицы вещества — электроны, протоны, нейтроны и другие микрообъекты. В классической физике вещество всегда считалось состоящим из частиц, и потому волновые свойства казались явно чуждыми ему. Тем удивительнее оказалось открытие о наличии у микрочастиц волновых свойств, первую гипотезу о существовании которых высказал в 1924 г. известный французский ученый Луи де Бройль. "В оптике, — писал он, — в течение столетия слишком пренебрегали корпускулярным способом рассмотрения по сравнению с волновым; не делалась ли в теории вещества обратная ошибка?". Допуская, что частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые, де Бройль перенес на случай частиц вещества те же правила перехода от одной картины к другой, какие справед-

ливы в случае света. По идее де Бройля, движение электрона или какой-либо другой частицы связано с волновым процессом, с частотой

$$\nu = E/h.$$

Гипотеза де Бройля была вскоре подтверждена экспериментально в 1927 г. американскими физиками К. Дэвиссоном и Л. Джермером, впервые обнаружившими явление дифракции электронов на кристалле никеля, т. е. типично волновую картину. Формула

$$\lambda = h/P$$

называется формулой де Бройля и является одним из соотношений, лежащих в основе современной физики. Для частицы массой m , движущейся с малой скоростью ν ,

$$\lambda = h/m\nu.$$

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

Своеобразие свойств микрочастиц отчетливее всего обнаруживается в следующем мысленном эксперименте. Достоверность наблюдаемого в мысленном эксперименте эффекта вытекает из наблюдений, полученных в ряде реальных экспериментов. Направим на преграду с двумя узкими щелями параллельный пучок моноэнергетических (т. е. обладающих одинаковой кинетической энергией) электронов (рис. 7.1, а). За преградой поставим фотопластинку ФП. Вначале закроем вторую щель и произведем

экспонирование в течение определенного времени. Почернение на обработанной фотопластинке будет характеризоваться кривой 1 на рис. 7.1, б. Вторую фотопластинку подвергнем экспозиции в течение того же времени, закрыв первую щель. Характер почернения передается в этом кривой 2 на рис. 7.1, б. Наконец, откроем обе щели и подвергнем экспонированию в течение того же времени третью пластинку. Картина почернения, получающаяся в последнем случае, изображена на рис. 7.1, в.

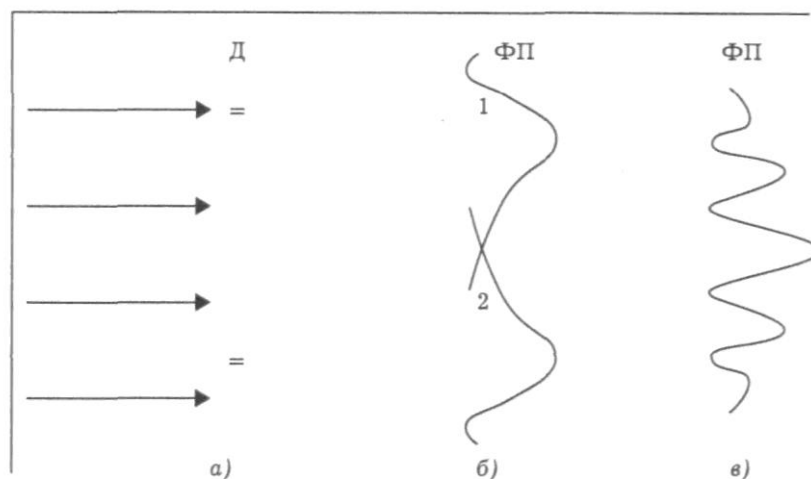


Рис. 7.1. Дифракция микрочастиц на преграде с двумя щелями:
а — при закрытой второй щели; б — при закрытой первой щели;
в — когда обе щели открыты, что никак не соответствует простому наложению картин 1 и 2

Эта картина отнюдь не эквивалентна положению первых двух картин. Она оказывается аналогичной картине, получающейся при интерференции двух когерентных световых волн. Характер картины свидетельствует о том, что на движение каждого электрона оказывают влияние оба отверстия. Такой вывод несовместим с представлением о траекториях. Если бы электрон в каждый момент времени находился в определенной точке пространства и двигался по траектории, он проходил бы

через определенное отверстие — первое или второе. Явление же дифракции доказывает, что в прохождении каждого электрона участвуют оба отверстия — и первое, и второе. Не следует, однако, представлять дело так, что какая-то часть электрона проходит через одно отверстие, а другая часть — через второе. Мы уже отмечали, что электрон, как и другие микрочастицы, всегда обнаруживается как целое, с присущей ему массой, зарядом и другими характерными для него величинами.

Таким образом, электрон, протон, атомное ядро представляют собой частицы с весьма своеобразными свойствами. Обычный шарик, даже и очень малых размеров (макроскопическая частица), не может служить прообразом микрочастицы. С уменьшением размеров начинают проявляться качественно новые свойства, не обнаруживающиеся у микрочастиц. Однако при определенных условиях понятие траектории оказывается приближенно применимым к движению микрочастиц, подобно тому, как оказывается справедливым закон прямолинейного распространения света. В формуле де Бройля нет ничего специфического для электрона как определенной частицы. Волновые свойства должны быть присущи любой частице вещества, имеющей массу m и скорость v . Убедительное доказательство справедливости формулы де Бройля и наличия волновых свойств у частиц было получено в опытах по дифракции нейтронов на кристаллах. В ряде случаев с помощью дифракции нейтронов можно успешнее исследовать строение веществ, чем с помощью рентгеновских лучей или электронов.

7.3. Концепция дополнительности

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

Б. Шоу

Изложенное приводит к выводу о том, что наличие волновых свойств у движущихся частиц, обладающих массой покоя,

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

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

Из опытов по дифракции электронов следует, что в этих экспериментах обнаруживается неодинаковое распределение пучков электронов по сравнению с другими. С волновой точки зрения наличие максимумов числа электронов в некоторых направлениях означает, что эти направления соответствуют наибольшей интенсивности волн де Бройля. Другими словами,

интенсивность волн в данной точке пространства определяет число электронов, попавших в эту точку за 1 с. Это послужило основанием для своеобразного статистического, вероятностного истолкования волн де Бройля. Квадрат модуля амплитуды волн де Бройля в данной точке является мерой вероятности того, что частица обнаруживается в этой точке.

7.4. Вероятностный характер законов микромира. Концепции неопределенности и причинности

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

А. Эйнштейн

Принципиальное отличие квантовой механики от классической состоит также в том, что ее предсказания всегда имеют вероятностный характер. Для того чтобы описать распределение вероятности нахождения частицы в данный момент времени в некоторой области пространства, введем некоторую функцию $\varphi(x, y, z, t)$, называемую волновой функцией. Величиной $|\varphi|^2$ определяется интенсивность волн де Бройля. Такая интерпретация волновой функции объясняет, почему волны де Бройля иногда называют "волнами вероятности". Волновая функция φ является основной характеристикой состояния микрообъектов (элементарных частиц, атомов, молекул). С ее помощью в квантовой механике могут быть вычислены средние значения физических величин, которые характеризуют данный объект, находящийся в состоянии, описываемом волновой функцией φ .

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

В квантовой механике оказывается невозможным одновременно характеризовать объект микромира его координатами: положением в пространстве — x и импульсом — P_x (в классическом смысле этих понятий) (рис. 7.2).

Соотношение $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq h$;

$\Delta y \cdot \Delta P_y \geq \Delta z \cdot h$; $\Delta P_z \geq h$

называется соотношением неопределенности для величин x и P_x . Это соотношение открыл В. Гейзенберг в 1927 г. Утверждение о том, что произведение неопределенностей значений двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше или равно постоянной Планка h , называется принципом неопределенности Гейзенберга. Соотношение неопределенности указывает, в какой мере можно пользоваться понятиями классической механики применительно к микрочастицам, в частности, с какой степенью точности можно говорить о траекториях микрочастиц.

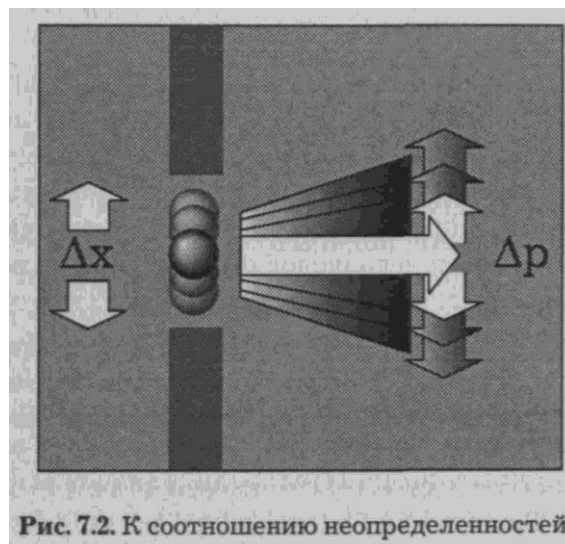


Рис. 7.2. К соотношению неопределенностей

Соотношение неопределенности является одним из фундаментальных положений квантовой механики. Одного этого соотношения достаточно, чтобы получить ряд важных результатов. В частности, оно позволяет объяснить тот факт, что электрон не падает на ядро атома, а также оценить размеры простейшего ато-

ма и минимальную возможную энергию электрона в таком атоме. Соотношения неопределенностей являются следствием объективно существующей двойственности частиц микромира — наличия у них корпускулярных и волновых свойств. Эти соотношения свидетельствуют об объективно существующих ограничениях в возможности описания поведения микрообъектов с помощью классических понятий координат и импульсов. В ряде случаев описывать движения микрообъекта так, как это делается в классической механике — с помощью задания в каждый момент времени его координат и импульса, не имеет смысла, ибо сами эти понятия одновременно не могут быть применены к микрообъекту. В квантовой механике само понятие о состоянии системы приобретает иной смысл, чем в классической физике, — для определения этого состояния нужен иной подход. Максимально точным заданием состояния микрообъекта в квантовой механике является задание его волновой функции Φ , которая удовлетворяет некоторому дифференциальному уравнению, содержащему первую производную волновой функции Φ по времени. Это значит, что задание волновой функции Φ для момента времени t_0 , определяет ее значение для момента времени большего t_0 , т. е. $t > t_0$. Другими словами, в квантовой механике в соответствии с требованием **принципа причинности** состояние микрообъекта, определенное в некоторый момент времени t_0 , однозначно предопределяет его дальнейшее состояние. К микрообъектам нельзя применять принцип причинности в форме, заимствованной из классической механики и основанной на применении понятий координат и импульсов, ибо особая природа микрообъектов этого не допускает. Принцип причинности здесь имеет вероятностный характер. Вероятностное (статистическое) истолкование волн де Бройля и соотношения неопределенностей указывают, что уравнение движения в квантовой механике должно быть таким, чтобы оно позволяло объяснить наблюдаемые на опыте волновые свойства частиц. Поскольку положение частицы в пространстве в данный момент времени определяется в квантовой механике заданием волновой функции $\Phi(x, y, z, t)$, точнее величиной $|\Phi|^2$, определяющей лишь вероятность нахождения частицы в точке

x, y, z в момент времени t , основное уравнение квантовой механики должно быть уравнением относительно функции $\Phi(x, y, z, t)$. Далее, это уравнение должно быть волновым уравнением, ибо из него должны получить свое объяснение эксперименты по дифракции микрочастиц, указывающие на их волновую природу. Основное уравнение нерелятивистской (при скоростях частиц значительно меньших скоростей света) квантовой механики было найдено в 1926 г. Э. Шредингером. Как и уравнения движения Ньютона, лежащие в основе классической физики и поэтому невыводимые, уравнение Шредингера постулируется. Справедливость уравнения Шредингера доказывается тем, что выводы квантовой физики, полученные с помощью этого уравнения в атомной и ядерной физике, находятся в хорошем согласии с опытом. Значение уравнения Шредингера заключается не только в том, что его решение дает соответствующее опыту статистическое распределение частиц, но и в том, что из уравнения Шредингера совместно с условиями, налагаемыми на волновую функцию, непосредственно вытекают правила квантования энергии. Важнейший философский вывод из квантовой механики заключается в принципиальной неопределенности результатов измерения и, следовательно, невозможности точного предвидения будущего.

7.5. Электронная оболочка атома

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

Н.Бор

В 1925 г. В. Паули установил квантово-механический закон, называемый **принципом Паули, или принципом исключения**. В своей простейшей формулировке он гласит: в любом атоме не может быть двух электронов, находящихся в двух одинаковых стационарных энергетических состояниях, определяемых

набором четырех квантовых чисел: главного n , орбитального l , магнитного m и спинового m_s .

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

В начале XX в. опытами по облучению тонкой фольги α -частицами Э. Резерфорд определил структуру атома. Он показал, что атом имеет планетарную модель, т. е. состоит из плотного положительно заряженного ядра, вокруг которого обращается рыхлая электронная оболочка. В целом атом является электронейтральной элементарной структурой химического элемента. Физический смысл порядкового номера Z -элемента в периодической системе элементов был установлен в планетарной модели атома Резерфорда. Z совпадает с числом положительных элементарных зарядов в ядре, закономерно возрастающих на единицу при переходе от предыдущего элемента к последующему. Химические свойства элементов и ряд их физических свойств объясняются поведением внешних, так называемых валентных, электронов их атомов. Поэтому периодичность свойств химических элементов должна быть связана с определенной периодичностью в расположении электронов в атомах различных элементов. Теория периодической системы основывается на следующих положениях:

а) порядковый номер химического элемента равен общему числу электронов в атоме данного элемента;

б) состояние электронов в атоме определяется набором их квантовых чисел n, l, m и m_s . Распределение электронов в атоме по энергетическим состояниям должно удовлетворять принципу минимума потенциальной энергии: с возрастанием числа элект-

ронов каждый следующий электрон должен занять возможное энергетическое состояние с наименьшей энергией;

в) заполнение электронами энергетических состояний в атоме должно происходить в соответствии с принципом Паули.

Электроны в атоме, занимающие совокупность состояний с одинаковым значением главного квантового числа n , образуют электронную оболочку, или электронный слой. В зависимости от значений n различают следующие оболочки: К при $n = 1$, L при $n = 2$, M при $n = 3$, N при $n = 4$, O при $n = 5$ и т. д. Максимальное число электронов, которые могут находиться в оболочках, согласно принципу Паули: в К-оболочке — 2 электрона, в оболочках L, M, N и O соответственно 8, 18, 32 и 50 электронов. В каждой из оболочек электроны распределяются по подгруппам или по-добоочкам, каждая из которых соответствует определенному значению орбитального квантового числа.

В атомной физике принято обозначать электронное состояние в атоме символом nl , указывающим значение двух квантовых чисел. Электроны, находящиеся в состояниях, характеризуемых одинаковыми квантовыми числами n и l , называются эквивалентными. Число Z эквивалентных электронов указывается показателем степени в символе nl^Z . Если электроны находятся в некоторых состояниях с определенными значениями квантовых чисел n и l , то считается заданной так называемая электронная конфигурация. Например, основное состояние атома кислорода можно выразить следующей символической формулой: $1s^2, 2s^2, 2p^4$. Она показывает, что два электрона находятся в состояниях $n = 1$ и $l = 0$, два электрона имеют квантовые числа $n = 2$ и $l = 0$ и четыре электрона занимают состояния $n = 2$ и $l = 1$.

Порядок заполнения электронных состояний в оболочках атомов, а в пределах одной оболочки — в подгруппах (подоболочках) должен соответствовать последовательности расположения энергетических уровней с данными n и Z . Сначала заполняются состояния с наименьшей возможной энергией, а затем состояния со все более высокой энергией. Для легких атомов этот порядок соответствует тому, что сначала заполняется оболочка с меньшим n и лишь затем должна заполняться электронами следующая

щая оболочка. В пределах одной оболочки сначала заполняются состояния с $l = 0$, а затем состояния с большими l , вплоть до $l = n - 1$. Взаимодействие между электронами приводит к тому, что для достаточно больших главных квантовых чисел n состояния с большим n и малым l могут иметь меньшую энергию, т. е. быть энергетически более выгодными, чем состояния с меньшим n , но с большим l . Из изложенного следует, что периодичность химических свойств элементов объясняется повторяемостью электронных конфигураций во внешних электронных подгруппах у атомов родственных элементов.

Исследования спектров излучения разряженных газов (т. е. спектров излучения отдельных атомов) показали, что каждому газу присущ вполне определенный линейчатый спектр, состоящий из отдельных спектральных линий или групп близко расположенных линий. Самым изученным является спектр наиболее простого атома — атома водорода.

Спектр водорода может быть рассчитан обобщенной формулой, предложенной эмпирически швейцарским ученым И. Бальмером, описывающей все известные тогда линии водорода:

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ — постоянная Ридберга, где m имеет в каждой данной серии постоянное значение $m=1, 2, 3, 4, 5, 6$ (определяет серию), n принимает целочисленные значения начиная от $m + 1$ (определяет отдельные линии этой серии). Исследование более сложных спектров — спектров паров щелочных металлов (например, Li, Na, K) — показало, что они представляются набором незакономерно расположенных линий.

Первая попытка построения качественно новой — квантовой — теории атома была предпринята в 1913 г. датским физиком Нильсом Бором. Он поставил перед собой цель связать в единое целое эмпирические закономерности линейчатых спектров, планетарную модель атома Резерфорда и квантовый характер

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

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн. В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные квантованные значения момента импульса, удовлетворяющие условию $mvr_m = n\hbar$ ($n = 1, 2, 3...$), где m — масса электрона, v — скорость по n -й орбите радиуса r_n , $\hbar = h / (2\pi)$

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) квант излучения с энергией $h\nu = E_n - E_m$, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний [E_n и E_m — соответственно энергии стационарных состояний атома до и после излучения (поглощения)]. При $E_m < E_n$ происходит излучение кванта (переход атома в состояние с большей энергией, т. е. переход электрона на более удаленную от ядра орбиту). Набор возможных дискретных частот $\nu = (E_n - E_m) / h$ квантовых переходов и определяет линейчатый спектр атома.

Квантовая механика позволила объяснить вопрос об излучении спектральных линий атомом, находящимся в возбужденном состоянии, а также процессы поглощения излучения, которое падает на атом в полном согласии с опытом. Предположим, что электрон находится в некотором энергетическом состоянии, характеризуемом главным квантовым числом n . Вероятность нахождения электрона в элементе объема dV внутри атома выразится как $|\varphi_n|^2 dV$. Было показано, что в квантовом состоянии, характеризуемом главным квантовым числом n , вероятность местоположения электрона в атоме не зависит от времени, не изменяется с течением времени. Электрон в таком состоянии не будет совершать колебаний и излучать энергию. Его энергия E_n не будет изменяться. Энергетическое состояние электрона,

характеризуемое определенной энергией E_n , является стационарным. Находясь в этом состоянии, электрон не излучает энергии. Это есть объяснение первого постулата Н. Бора о наличии у атома стационарных состояний, находясь в которых электроны атома не излучают энергии. С точки зрения квантовой механики стационарное состояние атома должно сохраняться как угодно долго, если нет причин, вызывающих изменение энергии атома. Однако опыт показывает, что атом, находящийся в возбужденном энергетическом состоянии, сам собой переходит в нормальное, невозбужденное состояние, излучая свет. Такое излучение, происходящее в отсутствие внешних причин, изменяющих энергию атома, называется самопроизвольным, или спонтанным, излучением. В квантовой физике переход атома из одного состояния в другое, связанный с излучением или поглощением кванта $E = h\nu$, описывается с помощью общего уравнения Шредингера, в котором волновая функция электрона зависит не только от координат, но и от времени, $\varphi = \varphi(x, y, z, t)$.

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

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

В этом уравнении $V(x, y, z)$ — потенциальная энергия,

m — масса микрочастицы, Δ — сумма вторых производных по пространственным координатам, \hbar — постоянная Планка, $i = \sqrt{-1}$

Квантовая механика позволила преодолеть непоследовательность теории Бора. Оказалось, что уравнение Шредингера составлено так удачно, что его решение для электронов в атоме позволяет без всяких постулатов и правил отбора получить все объяснения данных наблюдений. Переход атома из одного состояния в другое означает переход между этими состояниями его оптического электрона, описываемого волновой функцией φ . Естественно, что сам спектр излучения состоит из отдельных ли-

ний, соответствующих переходам между дискретными уровнями энергии в атоме и охватывает весьма широкий диапазон частот. Наблюдаемое дискретное излучение атомов охватывает область инфракрасного излучения, видимую область, ультрафиолетовую часть спектра и даже рентгеновский линейчатый спектр (в случае тяжелых атомов). Атомы разных химических элементов обладают различными спектрами излучения. На этом основан спектральный анализ химического состава таких небесных тел, как Солнце и звезды.

Таким образом, в области микромира согласно современной естественно-научной картине мира, на смену "волнам материи" пришли "волны вероятности". Вероятностная трактовка волновой функции отражает присущие микрообъектам элементы случайного в их поведении. Необходимой оказывается лишь вероятность поведения микрообъекта. Это означает, что предсказания в квантовой физике имеют, вообще говоря, вероятностный характер и, следовательно, физика микрообъектов является принципиально статистической теорией. Случаен факт обнаружения электрона в том или ином месте около ядра; вероятность же его обнаружения в данном месте определяется формой и размерами соответствующего "электронного облака".

Вероятность лежит в самой основе квантовой механики и вообще квантовой физики. Академик В. А. Фок писал: "В квантовой механике понятие вероятности есть понятие первичное, оно играет там фундаментальную роль". "Статистические методы в физике, — писал Борн, — по мере развития науки распространялись все больше и больше, и сегодня можно сказать, что современная физика полностью опирается на статистическую основу... Это является событием в истории человеческого мышления, значение которого выходит за пределы самой науки".

Вероятностный подход к описанию явлений микромира совершенно не означает, что движение микрочастиц непредсказуемо и произвольно. Зная волновую функцию, можно определить вероятность появления частицы в любом месте и в любое время. На смену жестко детерминизированным законам классической физики, справедливым в макромире, пришли вероятностные

законы, работающие в микромире. Они являются отражением специфики микрообъектов, проявлением новых свойств материи на уровне ее мельчайших структурных единиц. Принцип соответствия работает и здесь — при переходе к макрообъектам квантово-механический аспект движения становится неощутим из-за малости постоянной Планка h . Динамические законы есть предельный случай более общих вероятностных закономерностей. Последние не являются свидетельством неполноты нашего знания, а отражают глубокое понимание свойств материи на новом качественном уровне.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что элементарные частицы могут взаимно превращаться, т. е. не являются "последними кирпичиками" мироздания. Стало ясно, что число элементарных частиц не должно быть особенно большим.

2. В механике микромира уравнение Шредингера для волновой функции играет ту же роль, что и уравнение Ньютона в классической механике. В уравнении, объясняющем поведение электрона в атоме, содержится волновая функция, квадрат модуля которой определяет положение электрона в данной точке в каждый момент времени. Главным открытием квантовой механики является вероятностный характер законов микромира.

3. Частицам вещества в микромире присущ корпускулярно-волновой дуализм: в одних явлениях они проявляют волновые свойства, а в других — корпускулярную природу. Поэтому для изучения свойств микромира применяют принцип дополнительности, введенный Н. Бором в 1927 г.

4. Фундаментальным в квантовой теории является принцип неопределенности, определяющий границы применимости классических представлений при описании свойств микромира. Невозможно с одинаковой точностью определить и положение, и импульс микрочастиц.

5. В результате экспериментов по рассеянию α -частиц Резерфордом была предложена планетарная модель строения атома. При заполнении электронами орбит в атоме соблюдается

принцип Паули: два электрона не могут находиться в одном и том же энергетическом состоянии.

6. Важнейший философский вывод из квантовой механики заключается в принципиальной неопределенности результатов измерений и, следовательно, невозможности точного предвидения будущего в микромире.

Вопросы для контроля знаний

1. Какие новые открытия в науке опровергли представления об атомах как последних, неделимых частицах материи?

2. Охарактеризуйте строение атома по модели Э. Резерфорда.

3. Что принципиально нового внес в эту модель Н. Бор?

4. Какие частицы называются элементарными и где они были открыты?

5. Какими общими свойствами обладают элементарные частицы?

6. Какие частицы называются кварками и почему они не существуют в свободном состоянии?

7. Что такое вещество и антивещество?

8. Что называют аннигиляцией элементарных частиц?

9. Какие эксперименты доказывают существование волновых свойств у микрочастиц материи?

10. Существуют ли волновые свойства микрочастиц отдельно от корпускулярных? Что означает дуализм микрочастиц?

11. Сформулируйте принцип дополнительности и расскажите, где он применяется.

12. Почему принцип неопределенности служит фундаментом квантовой механики?

13. В какой форме выражаются законы квантовой механики?

14. Каков характер принципа причинности в микромире?

Глава 8. КОНЦЕПЦИИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ

*Есть многое на свете, друг Гораций,
что и не снилось нашим мудрецам. У.
Шекспир*

8.1. Многообразие форм материи

Все то, из чего состоит окружающая нас Вселенная, мы называем **материей**. Философское определение материи — это объективная реальность, существующая вне и независимо от человеческого сознания и отражаемая им. Философское понятие материи может быть определено путем соотношения его с понятием сознания, что его отражает. Если материя есть объективная реальность, то сознание — это субъективная реальность. Сознание есть свойство высокоорганизованной материи как идеальное отражение материального мира. Кроме указанного свойства материя обладает следующими всеобщими свойствами: субстанциональностью, активностью, сохраняемостью, структурностью, неисчерпаемостью, способностью отражения, конечностью и бесконечностью, абсолютностью и относительностью, прерывностью и непрерывностью и др.

Субстанциональность материи состоит в том, что объективная реальность есть причина самой себя, она не сотворима и не уничтожима.

Активность материи выражается в ее беспредельной способности к самодвижению, развитию, ведущему к непрерывным качественным изменениям мира, его постоянному обновлению. Существование материи — это вечно живой, внутренне активный процесс образования, развития и взаимодействия многообразных видов и свойств.

Сохраняемость материи заключается в том, что она как объективная реальность не может возникать из ничего и бесследно исчезать. Происходит лишь превращение одних материальных форм в другие. Доказательством сохраняемости материи являются законы сохранения массы, энергии, количества движения, электрического заряда и т. д.

Структурность материи означает ее принципиальную несводимость к понятию последним и неизменным "элементам". Каким бы простым ни казался любой материальный объект, он всегда обладает сложной структурой. Структурность связана целостной системой.

Неисчерпаемость материи заключается в бесконечном многообразии видов и свойств объективной реальности (микро-, макро- и мегамиров), форм их взаимодействия и взаимопереходов. На каждом структурном уровне материи действуют свои специфические закономерности.

Свойство отражения присуще всей материи, как органической, так и неорганической. Свойство отражения заключается в способности материального объекта при взаимодействии с другими воспроизводить в своих изменениях (в виде отпечатков, следов, образов и т. д.) особенности взаимодействующих объектов. Чем сложнее уровень организации материи, тем становятся сложнее сами формы отражения — от простой механической формы в неорганическом мире к раздражимости в органической природе. И как самая высшая форма материи, присущая человеческому мозгу, — это психическое отражение в виде сознания (ощущения, восприятия, представления, понятия, суждения и умозаключения).

С точки зрения современной науки основные формы материи — это:

1) система неживой природы (элементарные частицы и поля, вакуумы, атомы, молекулы, макроскопические тела, космические системы различных порядков);

2) живые системы (вся биосфера — от микроорганизмов до человека);

3) социально-организованные системы (человек, общество).

Материя в природе существует в виде вещества и поля.

Таким образом, **материя** (лат. *materia*) — все, из чего состоит окружающий мир, множество явлений, объектов и их систем, носитель всех разнообразных свойств, отношений, взаимодействий объектов и форм движения. Все существующее в природе материально. Многообразные явления в мире представляют собой различные виды движения материи.

8.2. Вещество и его состояния

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

К. Тимирязев

Вещество — один из видов материи, из которого состоит весь окружающий нас мир. Его образуют большие скопления различных частиц, структур. **Вещество** представляет собой однородный (гомогенный) вид материи, т. е. такой материи, каждая частица которой имеет одинаковые физические свойства. Разные изделия, имеющие различное назначение и форму, могут быть изготовлены из одного и того же материала, и их вещество будет одинаковым. Под веществом будем понимать чистую материю, без примесей. Под материалом — вещество того же наименования, полученное в реальных условиях, т. е. имеющее неизбежные примеси.

В зависимости от условий среды вещество может находиться в твердом, жидком, газообразном и плазменном агрегатных состояниях. Микроструктура и состояние движения частиц в этих состояниях вещества носят различный характер. Рассмотрим их:

Твердое состояние. При достаточно низких температурах вещество находится в твердом состоянии, энергия системы минимальна и из всех возможных взаимных расположений частиц

реализуются упорядоченные, называемые кристаллическими. Под понятием "кристалл" (кристаллическое тело) подразумевают прежде всего периодичность его микроскопической структуры. В кристалле каждый атом окружен расположенными определенно другими атомами, и если эта конфигурация атомов обладает наименьшей возможной энергией, ясно, что она должна повторяться и в любых других местах тела. Простейшая конфигурация атомов, которая периодически повторяется вдоль тела во всех трех измерениях, образует элементарную ячейку кристаллической решетки. Кристаллическая решетка обладает симметрией переноса вдоль соответствующего направления. Естественно, физические величины также обладают такой же периодичностью. Число типов симметрии в природе ограничено. В решетках между атомами существует ионная, ковалентная, металлическая и ван-дер-ваальсовая связи. В реальных кристаллических телах существуют различные дефекты решетки: точечные дефекты (вакансии — пустые незаполненные места в узлах решетки; межузельные атомы внедрения), линейные дефекты, к которым относятся дислокации — наличие в решетке лишней кристаллической полуплоскости. По энергетическому характеру распределения электронных состояний в кристаллах в природе существуют три основные группы кристаллических твердых тел: металлы, диэлектрики и полупроводники. Они имеют различные свойства электрической проводимости тока. Атомы в твердом теле не могут значительно удаляться от своих равновесных положений — узлов кристаллической решетки. Их движение в основном сводится к колебаниям вблизи узлов решетки. Геометрия кристаллического состояния вещества при обычных давлениях и температурах отличается необычайным разнообразием, хотя число типов решеток и ограничено. Свойства веществ определяются не только характером атомов, но и их взаимным расположением. В качестве примера можно указать на алмаз и графит — вещества, состоящие из одних и тех же атомов углерода, но имеющие различные кристаллические решетки. Тела могут сильно отличаться в отношении механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств. Зная

атомную природу тел и зависимость указанных свойств от нее, можно целенаправленно создавать новые материалы.

Жидкое состояние. При повышении температуры скачкообразно происходит фазовый переход кристалл—жидкость (плавление) и при этом поглощается удельная теплота перехода. Каждое вещество имеет строго определенную температуру плавления. Жидкость — это вещества, в которых взаимодействие между частицами велико и в то же время тепловое движение частиц является сложным. В жидком состоянии атомы уже не являются строго локализованными, т. е. связанными с какими-то определенными положениями в теле. Они совершают колебательное движение и могут перескакивать, поэтому жидкости, сохраняя объем, могут изменять свою форму. Тепловые свойства конкретных жидкостей существенно индивидуальны. Лишь при температурах, близких к абсолютному нулю, возможно исследование тепловых свойств жидкостей в общем виде. Однако в природе имеется только одно вещество — гелий, которое остается жидким при $T \rightarrow 0 \text{ К}$.

Газообразное состояние. При дальнейшем повышении температуры вещества также скачкообразно, при определенной температуре, характерной данному веществу, совершают фазовый переход жидкость—газ. В газах частицы совершают хаотическое поступательное движение. Вещество в газообразном состоянии представляет собой совокупность многих слабо взаимодействующих частиц и оно практически полностью теряет свою индивидуальность. Это связано с малой плотностью газообразного вещества. В разреженных газах по-существу отсутствует взаимное влияние атомов, а значит, не проявляется их индивидуальная атомная структура. Газы всех веществ (при нормальных условиях) с хорошей точностью подчиняются одинаковым закономерностям.

Плазменное состояние. Дальнейшее весьма значительное повышение температуры (до 10^4 - 10^5 К) среды ведет к ионизации атомов, т. е. распаду их на ионы и свободные электроны. Частично или полностью ионизированный газ образует особое состояние вещества, называемое плазмой. Поскольку ионы и электроны, в отличие от атомов, несут нескомпенсированные электрические заряды, их взаимное влияние становится существенным. Плазма в противовес газам может проявлять коллективные свойства, что

сближает ее с конденсированным состоянием, т. е. с твердыми телами и жидкостями. В плазме легко возбуждаются всякого рода упругоэлектрические колебания. Особыми свойствами обладают вещества при сверхвысоких температурах и больших плотностях. При температурах $\sim 10^7$ К достигается полная ионизация плазмы: вещество состоит из "голых" ядер и свободных электронов. При дальнейшем повышении температуры начинаются ядерные превращения ($\sim 10^8$ К). При температурах свыше 10^9 К ядра разрушаются; при этом вещество состоит из протонов и электронов. Наконец, при температурах свыше 10^{13} К возможно широкое превращение частиц друг в друга. Это все рассматривалось при нормальном давлении. При невысокой температуре изменение давления также приводит к изменению состояния вещества. При сжатии вещества до $\sim 10^8$ атм. электронные оболочки атомов деформируются и возможно свободное движение внешних электронов, т. е. "металлизация" вещества. При достаточном сжатии вещества до $\sim 10^{12}$ атм. роль взаимодействия электронов с ядрами становится несущественной и вещество можно рассматривать как электронный газ большой плотности. Когда давление газа становится порядка 10^{18} атм., происходит захват электронов ядрами с испусканием нейтрино и уменьшением заряда и энергии связи ядра. При давлении 10^{24} атм. нейтроны преобладают над электронами и вещество можно рассматривать как нейтронный газ. При давлении 10^{27} атм. нейтронный газ имеет плотность ядерного вещества.

8.3. Энергия и ее проявления в природе

Наука научила людей пользоваться энергией, скрытой в сокровищницах Земли. Она должна вести человека в сокровищницы неба и научить его улавливать там энергию солнечных лучей.

К. Э. Циолковский

Понятие энергии занимает фундаментальное положение в структуре современного естествознания. Под **энергией** понима-

ют единую меру различных форм движения и взаимодействия материи. Она проявляется во множестве различных видов.

В механике различают два вида энергии: кинетическую и потенциальную. Кинетической энергией тела называют энергию, являющуюся мерой его механического движения и измеряемую той работой, которую может совершить тело при его торможении до полной остановки. Потенциальная энергия определяется как свойство системы материальных тел совершать работу при изменении положения или конфигурации тел в системе. Работа, совершаемая консервативными силами при изменении конфигурации системы, т. е. расположения всех ее частей по отношению к системе отсчета, не зависит от того, как было осуществлено это изменение при переводе системы из начальной конфигурации в конечную, в которых система имела различные значения энергии. Значит, работа может быть определена как мера изменения энергии, а энергия — как способность тела совершать работу. Причем применительно к механическим процессам полная энергия замкнутой консервативной системы тел, равная сумме их потенциальной и кинетической энергии, остается величиной постоянной. То есть всякое изменение потенциальной и кинетической энергии есть превращение потенциальной энергии в кинетическую, а кинетической в потенциальную. В случае механического движения передача энергии происходит в форме работы в процессе силового взаимодействия тел.

В случае, когда помимо консервативной силы, зависящей только от положения тела, в системе действуют и силы трения, тогда любая работа, совершаемая над телом извне, равна сумме приращений кинетической, потенциальной и внутренней энергии. Значит, механическая энергия при трении переходит во внутреннюю энергию, что сопровождается изменением состояния, степени нагретости или объема тела. Величину внутренней энергии (U) можно увеличить двумя эквивалентными способами — совершая над телом механическую работу (A) или сообщая ему количество теплоты (Q):

$$\Delta U = A + Q.$$

Значит, количество теплоты является мерой изменения внутренней энергии тела и выражает тепловую энергию. Установлен эквивалент между количеством теплоты и работой. Теплота может передаваться от тела к телу, переходить в работу, возникать при трении, но при этом она не является сохраняющей величиной. Механическая и тепловая энергии — это только две из многих форм энергии. Все, что может быть превращено в какую-либо из этих форм, есть тоже форма энергии. Химические реакции протекают с выделением или поглощением теплоты, показывая взаимопревращение химической энергии и теплоты. Работы Фарадея и Ленца приводят к открытию взаимопревращений электрической и магнитной энергий. Изучение процессов, происходящих в контактах двух металлических проводников, проделанных Пельтье и Ленцем, свидетельствуют о взаимопревращении электрической энергии и теплоты. Джоуль устанавливает соотношение между величиной количества теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока через проводник, и величиной самого тока и сопротивления проводника (закон Джоуля—Ленца).

Электрическая и магнитная энергии могут проявляться как единая электромагнитная энергия. В частном случае электромагнитную энергию испускают нагретые тела (примером этого служит солнечная энергия). Иногда солнечную энергию рассматривают лишь как прямое солнечное излучение, которое накапливается на Земле в виде гидроэнергии и энергии ископаемого горючего. Интенсивность солнечной энергии на поверхности Земли в средних широтах в летнее время примерно составляет 1 кВт/м^2 . Если 0,1% всей поверхности Земли преобразуют эту солнечную энергию в электрическую с эффективностью 5%, то электрическая энергия, генерируемая ежегодно, будет в 40 раз больше современного годового уровня потребления ее во всем мире.

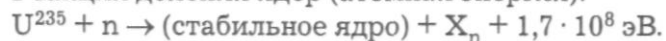
В теории относительности было показано, что энергия покоя является энергетическим выражением массы тела, находящегося в состоянии покоя. А Эйнштейн показал, что энергия покоя тела с массой m_0 равна $E_0 = m_0 c^2$. Согласно этой формуле один

грамм вещества обладает энергией покоя $9 \cdot 10^{13}$ Дж (10^{33} эВ). В обычных условиях колоссальная энергия покоя находится как бы в скрытом состоянии. Условия, при которых возможно освобождение всей энергии покоя вещества, весьма необычны: каждый атом тела должен встречаться с антиатомом антитела. При такой встрече произойдет процесс аннигиляции, т. е. превращение энергии покоя обоих тел в другую форму энергии (например, в энергию покоя и кинетическую энергию образующихся при аннигиляции более легких, чем нуклоны, частиц). Разумеется, аннигиляция элементарных частиц пока практического значения (как источник энергии) не имеет, так как для создания условий, при которых она может происходить, приходится затрачивать неизмеримо больше энергии, чем ее выделяется при аннигиляции.

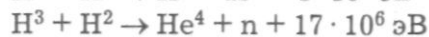
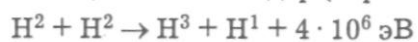
Далеко не все вещества пригодны как источники энергии, и величины выделяемой энергии веществами имеют существенные различия. Например, величина энергии, необходимой для того чтобы удерживать валентный электрон в атоме, составляет всего несколько электронвольт (эВ), в то время как величина энергии, связывающей нуклоны (протоны и нейтроны) в атомном ядре, достигает порядка 10 млн эВ на каждый нуклон. Следовательно, энергия, высвобождаемая на один атом при сжигании ископаемого горючего, составляет несколько электронвольт, в то время как энергия, высвобождаемая в результате ядерных взаимодействий, исчисляется миллионами электронвольт (МэВ). Химическая реакция (химическая энергия):



Реакция деления ядер (атомная энергия):



Реакция синтеза ядер (термоядерная энергия):



Полная энергия, запасенная во всех делящихся материалах, имеет такой же порядок величины, что и энергия, запасенная во

всех месторождениях ископаемых топлив. Энергия же, выделяемая в результате синтеза ядер, практически неограниченная.

Современная энергетика в основном базируется на горючих ископаемых, каковыми являются каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть и газ. В настоящее время в мире добывают около 7 млрд т условного топлива в год. Из той энергии, которая вырабатывается из органического топлива, около 25% расходует транспорт (автомобильный, авиационный, железнодорожный, морской) и сельскохозяйственные машины, 30-35% потребляют тепловые электростанции, около 30% идет в металлургическую и химическую промышленность, в машиностроение и производство стройматериалов и, наконец, не более 10% расходуется на бытовые нужды. Естественные запасы органического топлива пока еще велики, но не безграничны. Считают, что с учетом постоянного, но все уменьшающегося пополнения этих запасов их будет достаточно еще на 80 лет или, по другим данным, на 120-140 лет. Поэтому совершенно естественно и давно встал вопрос о новых источниках энергии. Решается этот вопрос во многих направлениях. Наиболее надежным из них считается расширение перспектив привлечения гидроресурсов, доля которых в стационарной энергетике сегодня составляет 17%. Но расширение сети гидроэлектростанций возможно лишь до определенного предела, разрешенного экологическими нормами. И этот предел применительно к большим рекам нашей страны достигнут, хотя в Дагестане еще есть резервы. Ставится задача использования энергии приливов и отливов морей, энергии ветра и волн. Не прекращается поиск новых запасов нефти на шельфах морского побережья. Но сжигание даже добываемых ныне семи миллиардов тонн органического топлива ведет к выбросу в атмосферу 15-17 млрд т углекислого газа с примесями CO и даже SO₂ со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В связи с этим в настоящее время особенно заманчивым является процесс преобразования энергии покоя в кинетическую энергию ("превращение массы в энергию"). Так как при обычных условиях любое тело обладает огромным резервом неиспользуемой энергии покоя $E_0 = m_0 c^2$, то даже ничтожно

малое уменьшение массы покоя должно приводить к заметному возрастанию кинетической энергии. Атомная энергия получается за счет "переработки" примерно 0,1% массы самого тяжелого из существующих в природе веществ — урана, термоядерная энергия — за счет переработки части массы наиболее легких веществ, например дейтерия. В каждом из этих направлений есть две задачи: мгновенное и медленное преобразование массы в энергию. В первом направлении полностью решены обе задачи: ученые и инженеры умеют освобождать атомную энергию как в мгновенном процессе взрывного типа (атомная бомба), так и в медленном управляемом процессе (ядерный реактор). В настоящее время атомная энергия широко используется в науке, промышленности и на транспорте. Во втором направлении пока решена только половина задачи — термоядерную энергию научились освобождать в мгновенном процессе взрывного типа (водородная бомба). Осуществление процесса медленного управляемого термоядерного синтеза оказалось настолько трудной задачей, что сейчас нельзя даже приблизительно указать, когда она будет решена. Но она будет решена, так как эти трудности, по-видимому, не носят принципиального характера.

Любое атомное ядро состоит из некоторого количества (Z) протонов и $(A-Z)$ нейтронов, удерживаемых вместе ядерными силами притяжения (сильные взаимодействия). Ядерные силы отличаются очень большой интенсивностью на расстояниях $\sim 10^{-13}$ см и чрезвычайно быстро ослабевают с ростом расстояния. Так как для разделения ядра на нуклоны (протоны и нейтроны) надо совершить работу на преодоление ядерных сил притяжения, то энергия атомного ядра меньше энергии тех нуклонов, из которых ядро состоит. А так как энергия и масса связаны соотношением $E = mc^2$, то масса атомного ядра также меньше суммарной массы всех составляющих его нуклонов. Разность их значений, выраженная в энергетическ $\Delta W = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]c^2$. в атомной энергии ΔW .

Энергия связи любого ядра положительна, и она должна составлять заметную часть, приблизительно равную 1% от его

энергии покоя. Если же мы заинтересуемся ее точными значениями для различных ядер и подсчитаем их по приведенной формуле, то убедимся, что они довольно сильно колеблются, в особенности у легких ядер. Доля, которую составляет энергия взаимодействия нуклонов от энергии покоя, зависит от числа взаимодействующих нуклонов. С ростом числа нуклонов она сначала возрастает, а затем уменьшается. Другими словами, нуклоны особенно прочно связаны в средних (по весу) ядрах, слабее — в тяжелых и очень легких ядрах. Главная причина различия в энергии связи разных ядер заключается в следующем. Все нуклоны, из которых состоит ядро, можно условно разделить на две группы: внутренние и поверхностные. Внутренние нуклоны окружены соседними нуклонами со всех сторон, поверхностные же — только с внутренней стороны. Поэтому внутренние нуклоны взаимодействуют с остальными нуклонами сильнее, чем поверхностные. Но процент внутренних нуклонов особенно мал у легких ядер (у самых легких ядер все нуклоны можно считать поверхностными) и постепенно увеличивается по мере их утяжеления. Поэтому энергия связи должна расти вместе с ростом числа нуклонов в ядре. Однако этот рост не может продолжаться очень долго, так как начиная с некоторого достаточно большого числа нуклонов ($A = 50 - 60$) количество протонов в ядре становится настолько большим, что делается заметным их взаимное отталкивание даже на фоне сильного ядерного притяжения. Это отталкивание и приводит к уменьшению энергии связи у тяжелых ядер. Поэтому ядра одних атомов устойчивы, стабильны, а других атомов химических элементов — неустойчивы и нестабильны.

Из сказанного понятно и то, откуда берется энергия при синтезе легких ядер, так же как при делении тяжелых, получают более прочные (более устойчивые) ядра (с большей взаимосвязанностью нуклонов), чем исходные. Поэтому при слиянии легких ядер должна выделяться энергия.

Количество энергии синтеза, приходящейся на единицу массы, может в несколько раз превосходить удельную энергию деления.

Хорошо известно, что целый ряд атомных ядер из числа встречающихся в природе, например радий, уран, торий и др., обладают способностью самопроизвольно испускать α -частицы, электроны и γ -кванты. Такие ядра и элементы называются радиоактивными. Про них говорят, что они обладают естественной радиоактивностью. Кроме того, было получено множество радиоактивных ядер. Явление самопроизвольного превращения одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием элементарных частиц, называют радиоактивностью. Такие превращения претерпевают только нестабильные ядра. К числу радиоактивных процессов относятся (рис. 8.1):

- 1) α -распад;
- 2) β -распад (в том числе электронный захват);
- 3) γ -излучение ядер;
- 4) спонтанное деление ядер;
- 5) протонная радиоактивность.

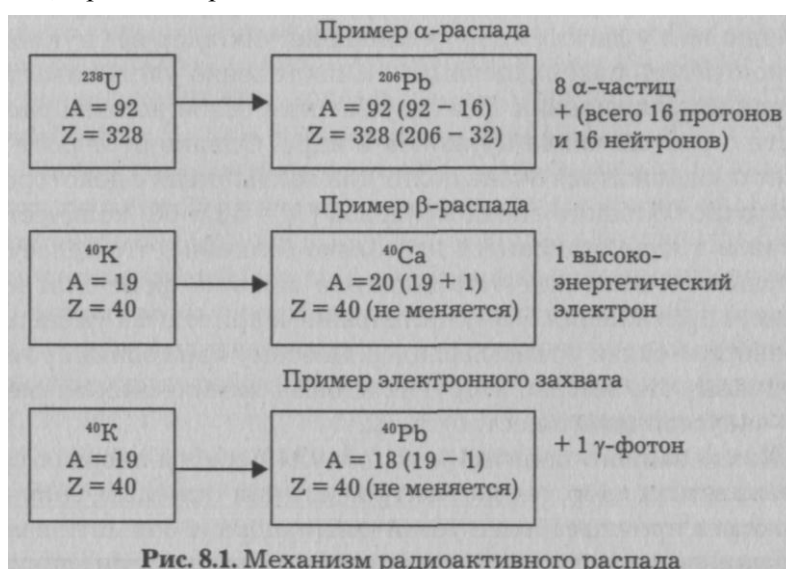


Рис. 8.1. Механизм радиоактивного распада

Существует три типа распада радиоактивных изотопов: испускание α -частиц, в котором ядро одновременно теряет два протона и два нейтрона (α -частицу); β -распад, в котором теряется один высокоэнергетический электрон, и электронный захват, в котором теряется один высокоэнергетический γ -фотон

В 1934 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри обнаружили, что у некоторых веществ (Al, V, Mn) способность испускать позитроны сохраняется на некоторое время и после того, как облучение а-частицами уже прекращено. Изучение этого явления показало, что по своим свойствам оно аналогично естественной радиоактивности тяжелых элементов.

Радиоактивность, наблюдающаяся у ядер, существующих в природных условиях, называется естественной. Радиоактивность ядер, полученных посредством ядерных реакций, называется искусственной. Между искусственной и естественной радиоактивностью нет принципиального различия. Процесс радиоактивного превращения в обоих случаях подчиняется одинаковым законам. Во всех видах радиоактивного превращения выполняются законы сохранения энергии, импульса, момента количества движения, электростатического, барионного и лептонного зарядов.

Одной из самых замечательных ядерных реакций является реакция деления. Делением называется реакция расщепления атомного ядра на две примерно равные по массе части (осколки деления). Тяжелые ядра ($Z \geq 90$) делятся как самопроизвольно (спонтанное деление), так и принудительно (вынужденное деление). В отличие от спонтанного вынужденное деление происходит практически мгновенно ($t < 10^{-14}$ с). Для вынужденного деления ядер с $Z \geq 90$ достаточно их предварительно слабо возбудить, например облучая нейтронами с энергией около 1 МэВ. Некоторые ядра, например уран-235, делятся даже под действием тепловых нейтронов.

Масса (а значит, и энергия) делящегося ядра значительно превышает сумму масс осколков. В связи с этим при делении освобождается очень большая энергия $Q \approx 200$ МэВ, значительную часть которой (≈ 170 МэВ) уносят осколки в виде кинетической энергии. Осколки деления имеют большой избыток нейтронов. Поэтому они обладают β -радиоактивными цепочками из продуктов деления, а также испускают мгновенные (два-три на один акт урана) и запаздывающие ($\approx 1\%$ мгновенных) нейтроны.

Большое энерговыделение, испускание нескольких нейтронов, возможность деления при небольшом возбуждении ядра позволяют осуществить цепную реакцию деления. Идея цепной реакции деления заключается в использовании вылетевших в процессе деления нейтронов для деления новых ядер с образованием новых нейтронов деления и т. д. Для нарастания цепного процесса необходимо, чтобы отношение числа нейтронов в двух последовательных положениях (так называемый коэффициент размножения нейтронов K) было больше единицы ($K > 1$).

Значения коэффициента размножения зависят от числа нейтронов, испускаемых в одном акте деления; от вероятности их взаимодействия с ядрами урана и других элементов при разных энергиях; от конструкции и размеров реакторной установки. В частности, активная зона реактора (область, где развивается цепная реакция) должна иметь размеры не меньше некоторой критической величины.

Цепная реакция, протекающая в уран-графитовом реакторе на тепловых нейтронах при $K \approx 1,005$, относится к классу медленных управляемых цепных ядерных процессов. Естественный уран не пригоден для осуществления быстрого цепного ядерного процесса взрывного типа на быстрых нейтронах. Такой процесс был осуществлен в 1945 г. на чистом изотопе урана-235 и на обладающем аналогичными свойствами изотопе плутоний-239 трансуранового элемента плутония.

Принцип работы атомной бомбы заключается в очень быстром сближении нескольких порций ядерного горючего, общее количество которых после их объединения превосходит по массе и размерам критические значения. Энергетическая эффективность атомной бомбы примерно в миллион раз превышает эффективность обычной бомбы.

После окончания Второй мировой войны основные усилия ученых-атомщиков были направлены на освоение атомной энергии в мирных целях. В 1954 г. у нас в стране была пущена первая в мире атомная электростанция, в 1957 г. спущен на воду атомный ледокол. В настоящее время атомная энергия применяется практически во всех областях народного хозяйства и науки и

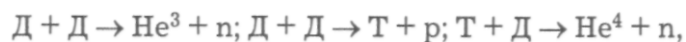
вносит все больший вклад в мировую энергетику. Построено и работает много ядерных реакторов разных типов (на тепловых, промежуточных и быстрых нейтронах) с различными замедлителями (графит, вода, тяжелая вода, бериллий и др.) и совсем без замедлителя (на быстрых нейтронах), с разным ядерным горючим (естественный уран, обогащенный уран, плутоний и др.). Они используются и для получения энергии (атомные электростанции, суда и др.), и для различных научных исследований. И хотя чернобыльская трагедия резко снизила восторг от успехов атомной энергетики, ее развитие обещает в дальнейшем широкие возможности и электрификации, и теплофикации, и даже химизации. Проблемы надежности работы атомных электростанций и их безаварийности более всего связаны с решением вопросов защиты атомных реакторов от внешних экстремальных воздействий (например, в условиях пожара) и захоронения радиоактивных отходов. Но в ближайшей перспективе по мере развития ядерной энергетики и радиохимии хранилища изотопов, т. е. осколки ядерного деления, могут превратиться в очаги производства ценнейших элементов, в частности платиноидов. Сегодня изотопы легких платиновых металлов, образующиеся в процессе деления ядер урана и плутония на атомных станциях, доставляют хлопоты: куда бы их подальше спрятать и изолировать. Но радиохимия, изучающая химические свойства и химические превращения радиоактивных веществ, уже в ближайшее время должна решить задачу выделения этих ценных металлов и очищения их от радиоактивных примесей.

И все-таки современные электростанции нельзя считать верхом достижения атомной энергетики и энергетики вообще, хотя они сегодня вносят около 12% вклада в общий энергетический баланс. Их недостаток не только в опасности типа Чернобыля, а еще и в том, что они работают, используя в качестве ядерного топлива изотоп урана-235, доля которого в природном уране составляет всего-навсего 0,7%. Поэтому развитие атомной энергетики на основе современного поколения АЭС определяется ресурсами урана, которые по энергетическому запасу сравнимы с запасами нефти.

Кроме реакции деления тяжелых ядер существует еще один способ освобождения внутриядерной энергии — реакция синтеза легких ядер. Величина энерговыделения в процессе синтеза настолько велика, что при большой концентрации взаимодействующих ядер ее может оказаться достаточно для возникновения цепной термоядерной реакции. В этом процессе быстрое тепловое движение ядер поддерживается за счет энергии реакции, а сама реакция — за счет теплового движения. Для достижения необходимой кинетической энергии температура реагирующего вещества должна быть очень высокой (10^7 - 10^8 К). При такой температуре вещество находится в состоянии горячей, полностью ионизированной плазмы, состоящей из атомных ядер и электронов. Совершенно новые возможности открываются перед человечеством с осуществлением термоядерной реакции синтеза легких элементов. Можно представить себе три способа осуществления этой реакции:

1. Медленная термоядерная реакция, самопроизвольно происходящая в недрах Солнца и других звезд.
2. Быстрая самоподдерживающаяся термоядерная реакция неуправляемого характера, происходящая при взрыве водородной бомбы.
3. Управляемая термоядерная реакция.

Неуправляемая термоядерная реакция — это водородная бомба, взрыв которой происходит в результате ядерного взаимодействия:



приводящего к синтезу изотопа гелия He^3 , содержащего в ядре два протона и один нейтрон, и обычного гелия He^4 , содержащего в ядре два протона и два нейтрона. Здесь n — это нейтрон, а p — протон, D — дейтерий и T — тритий. При обеих реакциях $D + D$ и $D + T$ выделяется огромное количество тепла: один грамм газа, "сгорая", образует столько энергии, сколько получается при сгорании примерно 12 т угля! Реакции протекают при температуре 10^7 — 10^8 К. Поэтому удерживать столь высоко разогретую массу, состоящую из ядер, протонов и нейтронов (она получила

название плазмы), невозможно ни в каком котле, изготовленном из сколь угодно жаропрочного материала. Это обстоятельство оказалось главным препятствием на пути осуществления управляемой термоядерной реакции.

Но уже в 1950-х годах наши отечественные физики первыми выдвинули и экспериментально обосновали принцип магнитной изоляции ядерной плазмы, которая позволяет уменьшить теплопередачу от плазмы к стенкам реактора. Впоследствии была сконструирована установка токамак — тороидальная камера магнитного удержания ядерной плазмы как ступень к решению задачи — управлению термоядерной реакцией.

Однако чем дальше углублялись в поиск решения этой задачи, тем больше появилось новых трудностей. И хотя ученые-физики нашей страны, США, Англии и других государств продвинулись в этом направлении довольно далеко, конечная цель, как они теперь полагают, может быть достигнута не ранее чем через сто лет.

Но существуют и другие препятствия на пути термоядерной энергии, главным из которых является возможный перегрев поверхности Земли в результате выщеления тепла термоядерными реакторами. Собственно, речь идет о разумных экологических ограничениях производства термоядерной энергии в пределах не более чем 5% от солнечной энергии, поглощаемой Землей. Однако даже и в этих пределах производство термоядерной энергии поднимает разогрев земной поверхности на $3,7^{\circ}$. Считают, что разогрев выше этой предельной температуры может привести к существенному изменению климата всей нашей планеты, даже к всемирному потопу за счет таяния льдов Антарктиды и Гренландии. Так что нужны меры по поиску экологически безупречных и практически неисчерпаемых источников энергии.

Самой рациональной из таких мер является использование солнечной энергии. Эта мера никогда не приведет к перегреву Земли и к загрязнению ее атмосферы, поверхности и океанов. Солнце каждую секунду посылает на Землю 4 триллиона калорий тепла. Около половины его рассеивается и поглощается атмосферой и около 10% задерживается в капельно-жидких и пыле-

вых облаках (рис. 8.2). И все же остающаяся доля доходящей до поверхности солнечной энергии оказывается грандиозной, в десятки раз превышающей предельно допустимое производство термоядерной энергии.

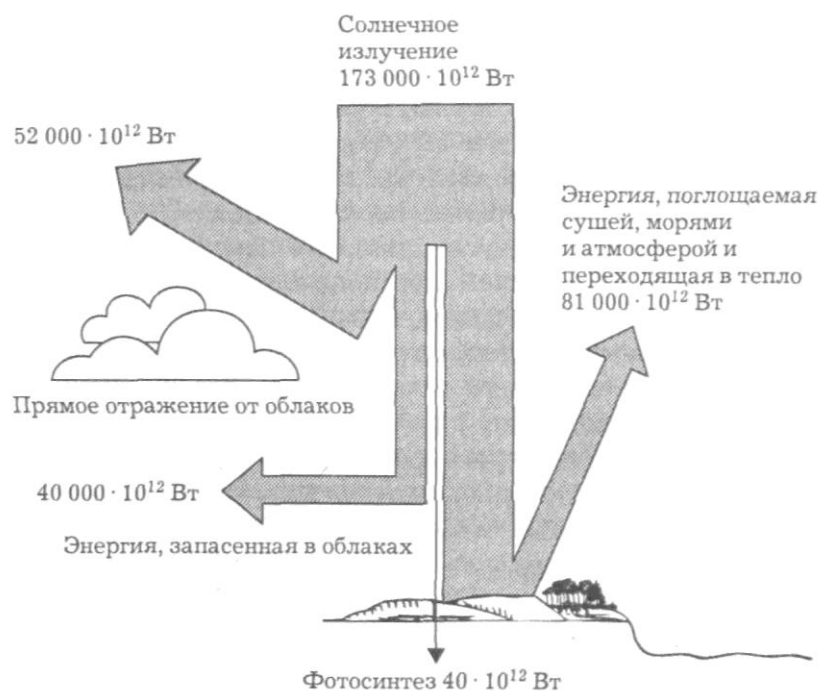


Рис. 8.2. Распределение солнечной энергии. Толщина стрелок соответствует количеству поглощенной, отраженной или запасенной энергии

Известные в настоящее время способы преобразования солнечной энергии в те виды, которые можно использовать в энергетике, условно делят на четыре типа: теплотехнические, физические, химические и биологические. Сегодня самыми распространенными являются теплотехнические способы. Но они находятся в зависимости от климатических условий, а их КПД при превращении тепловой энергии в электричес-

кую и механическую не превышает 5%. Физические преобразователи солнечной энергии, в основе которых находятся полупроводниковые фотоэлементы, пока не нашли широкого применения. Они используются в космических кораблях. А построенные на базе кремневых фотоэлементов в качестве опытных наземные электростанции выдают энергию, которая примерно в 100 раз дороже электроэнергии, получаемой на атомных станциях.

Биологическое преобразование солнечной энергии происходит в результате фотосинтеза, происходящего в растениях. Благодаря этому на Земле образовались ископаемые топлива. Хотя на фотосинтез расходуется менее одного процента от всей солнечной энергии, падающей на Землю, урожай зеленой массы растений за год по своей калорийности примерно равен добываемым за год из недр Земли горючим ископаемым.

В настоящее время стала актуальной задача химического преобразования солнечной энергии, т. е. аккумулярование и запасание солнечной энергии методом фотосинтеза. В этом отношении представляет интерес получение на основе преобразования солнечной энергии водорода из воды. Разрабатываемые ныне искусственные молекулярные фотокаталитические системы все более приближаются к природным фотосинтезирующим объектам не только по принципу их действия, но и по самой организации систем. Поэтому, возможно, в недалеком будущем удастся воспроизвести в искусственных условиях способность фотосинтезирующего аппарата растений запасать солнечную энергию в виде энергии химического топлива с одновременным выделением кислорода и КПД, близким к 40-50%. Во всяком случае, широкомасштабное преобразование солнечной энергии в энергию химических топлив поставлено на очередь дня. Водород является самым высококалорийным и экологически чистым топливом. Он удобен и для стационарной, и для транспортной энергетики. Бесспорно, это — универсальное топливо энергетики будущего.

8.4. Законы сохранения в природе

*Томны мира, что я изложил
в сокровенной тетради,
от людей утаил я,
своей безопасности ради.
Никому не могу рассказать,
что скрываю в душе,
слишком много невежд в этом злом
человеческом стаде...*

Омар Хайям

Открытие законов сохранения в природе началось с установления М. В. Ломоносовым и А. Л. Лавуазье почти независимо друг от друга закона сохранения массы вещества. Закон сохранения массы в химических процессах формулируется следующим образом: сумма масс исходных веществ (соединений) равна сумме масс продуктов химической реакции. Количественным выражением закона сохранения массы вещества применительно к производственному химическому процессу является материальный баланс, в котором подтверждается, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию (приход), равна массе полученных веществ (расход):

$$M_T + M_{ж} + M_G = M_T' + M_{ж}' + M_G',$$

где M_T , $M_{ж}$, M_G — соответственно массы твердых, жидких и газообразных материалов, поступивших на обработку (приход материалов);

M_T' , $M_{ж}'$, M_G' — массы продуктов, получившихся в результате химической переработки (расход материалов).

Важным достижением на пути дальнейшего процесса интеграции знаний было открытие фундаментального закона природы — закона сохранения и превращения энергии. Открытие закона сохранения и превращения энергии обычно связывают с именами Р. Майера, Д. Джоуля, Г. Гельмгольца. К открытию они пришли разными путями. Формулировка закона сохранения и превращения энергии, согласно Гельмгольцу, следующая: приращение кинетической энергии тела равно убыли его потенци-

альной энергии. Он выразил полученный закон в математической форме и связал закон сохранения энергии с принципом невозможности создания вечного двигателя. Джоуль определил величину эквивалента перевода механической энергии в тепловую. Майер рассматривал различные виды энергии: кинетическую, потенциальную, их сумму — механическую энергию, а также тепловую, электрическую, химическую энергии. Он считал, что все эти виды энергии могут взаимопревращаться — при условии неизменности общего количества энергии. Например, количественным выражением закона сохранения энергии в химическом производстве является тепловой (энергетический) баланс. Применительно к тепловым процессам химической переработки закон сохранения энергии формулируется так: количество тепловой энергии, принесенной в зону взаимодействия веществ, равно количеству энергии вынесенной веществами из этой зоны

$$Q_{\phi} + Q_{\text{э}} + Q_{\text{в}} = Q_{\phi}' + Q_{\text{п}}'$$

где Q_{ϕ} — теплота, введенная в процесс с исходными веществами;

$Q_{\text{э}}$ — теплота экзотермических реакций;

$Q_{\text{в}}$ — теплота, введенная в процесс извне;

Q_{ϕ}' — теплота, выведенная из процесса с продуктами реакции;

$Q_{\text{п}}'$ — потери теплоты в окружающую среду.

Переход энергии из одной формы в другую означает, что энергия в данной ее форме исчезает, превращается в энергию в иной форме. Закон сохранения энергии утверждает, что при любых процессах, происходящих в изолированной системе, полная энергия системы не изменяется, т. е. переход энергии из одной формы в другую происходит с соблюдением количественной эквивалентности. Для количественной характеристики различных форм движения вводятся соответствующие им виды энергии: механическая, внутренняя (тепловая), электромагнитная, химическая, ядерная и т. д. Закон сохранения энергии — закон, управляющий всеми явлениями природы; исключений из него науке неизвестно.

В структуру физической теории понятие энергии вошло в середине XIX в. при рассмотрении закона сохранения и превращения энергии в механике. Мерой изменения энергии в ряде случаев механики может быть определена работа. В этих случаях работа, совершаемая за счет уменьшения потенциальной энергии тела, практически полностью идет на увеличение кинетической энергии тела. Эти случаи послужили основанием для формирования закона сохранения и превращения энергии применительно к механическим процессам. Этот закон звучит следующим образом: полная энергия замкнутой консервативной системы тел, равная сумме их потенциальной и кинетической энергии, остается величиной постоянной. То есть всякое изменение потенциальной и кинетической энергии есть превращение потенциальной энергии в кинетическую, а кинетической в потенциальную. Необходимо отметить, что энергия сохраняется не только для изолированных (замкнутых) систем, но и для систем, находящихся во внешних полях, не изменяющихся во времени. Однозначное определение работы как меры изменения потенциальной энергии имеет место лишь для определенных типов полей, называемых потенциальными. Примерами таких полей могут служить гравитационное поле или электростатическое. Потенциальными считаются поля, работа сил которых не зависит от траектории движения тела в поле, а соответственно силы этих полей называют консервативными. В случае, если работа сил зависит от формы пути, или силы зависят от скорости движения, механическая энергия системы не сохраняется. Например, силы трения, которые присутствуют во всех случаях, не являются консервативными. Следовательно, закон сохранения механической энергии имеет смысл лишь применительно к идеализированным ситуациям. Выяснение энергетических процессов с наличием сил трения привело и к открытию закона сохранения и превращения энергии в тепловых явлениях. Причем это происходило в двух направлениях: термодинамическом, изучающем тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества, и молекулярно-кинетическом. Оформившись к середине XIX в.,

оба эти подхода к рассмотрению изменения состояния вещества с различных точек зрения дополняют друг друга, образуя единое целое. Работы Майера, Джоуля, Гельмгольца установили первое начало термодинамики, а Клаузиус и Томсон — второе начало термодинамики. Клаузиус первым высказал мысль об эквивалентности работы и количества теплоты. Закон сохранения энергии в тепловых процессах утверждает, что величину внутренней энергии U можно увеличить двумя эквивалентными способами — произведя над телом механическую работу (A) или сообщая ему количество теплоты (Q)

$$\Delta U = A + Q.$$

Следует подчеркнуть важное значение установления эквивалентности теплоты и работы. Именно понимание количества теплоты как меры изменения внутренней энергии способствовало установлению закона сохранения и превращения энергии.

Установлению закона сохранения энергии и превращение энергии способствовало также открытие эффектов, отличных от механических и тепловых, а также превращение других форм движения в тепловую энергию. Майер рассматривает положение о сохранении и превращении энергии в природе на живые организмы, утверждая, что при поглощении пищи в организме постоянно происходят химические процессы, результатом которых являются тепловые и механические эффекты.

Исследования электрических явлений давали серьезные основания для подкрепления вывода о взаимопревращении различных форм движения друг в друга. Джоуль устанавливает соотношение между величиной количества теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока через проводник, и величиной тока и сопротивления проводника.

Итак, на протяжении более четырех десятилетий формировался один из самых великих принципов современной науки. Всеми явлениями природы управляет закон сохранения и превращения энергии: энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает; количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую.

Дальнейшее развитие основополагающих закономерностей природы получило развитие в специальной теории относительности Эйнштейна, который приходит к заключению: "Если тело отдает энергию E в виде излучения, то его масса уменьшается на E/c^2 ... Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии". Позднее он формулирует следующий важный вывод специальной теории относительности: "масса и энергия эквивалентны друг другу"; появляется знаменитая формула Эйнштейна, связывающая энергию и массу:

$$E = mc^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m_0 — масса покоя, $E_0 = m_0 c^2$ — энергия покоя тела.

До создания специальной теории относительности законы сохранения энергии и массы рассматривались как два самостоятельных закона сохранения. Теперь же оба эти закона слились в один. По выражению Эйнштейна, масса должна рассматриваться как "сосредоточие колоссального количества энергии". Таким образом, теперь мы можем сказать, что фундаментальным законом природы является закон сохранения массы и энергии. Специфической особенностью применения закона сохранения энергии в ядерной физике и физике элементарных частиц является необходимость учета изменения энергии покоя, и следовательно, массы взаимодействующих тел.

Часто, говоря о преобразовании энергии покоя в кинетическую, называют этот процесс "превращением массы в энергию". Можно ли так говорить? Верно, это или нет? Строго говоря, неверно, так как в подобном процессе энергия и масса преобразуются не друг в друга, а каждая в свою другую форму; энергия покоя E_0 — в кинетическую энергию; масса покоя m_0 — в другую форму массы, которую мы с вами условно называли кинетической массой. В обоих преобразованиях сохраняется полное значение как энергии, так и массы. Но протекают эти преобразования таким образом, что возрастанию кинетической энергии от первоначального значения до конечного

значения соответствует эквивалентное убывание энергии покоя от первоначального значения до конечного значения. А так как масса и энергия связаны соотношением $E = mc^2$, то убывание энергии покоя ΔE_0 проявляется как уменьшение массы покоя m_0 на величину $\Delta m_0 = \Delta E_0 / c^2$ и называется она дефектом массы. В результате создается впечатление о "превращении массы в кинетическую энергию".

Согласно закону сохранения энергии, полная энергия E остается неизменной при любых процессах, однако этот закон не запрещает превращение энергии из одной формы в другую. В принципе возможны как процессы превращения энергии покоя E_0 в кинетическую энергию, так и обратный процесс преобразования кинетической энергии в энергию покоя. В соответствии с соотношением $E = mc^2$ первый процесс должен сопровождаться уменьшением массы ("превращением массы в энергию"), а второй — увеличением массы ("превращением кинетической энергии в массу"). Особенно заманчивым является процесс преобразования энергии покоя в кинетическую энергию ("превращение массы в энергию").

Мерой механического движения тела является количество движения, или импульс, определяемый как произведение его массы m на скорость v . Импульс P является векторной величиной, направленной так же, как скорость точки. В случае механической системы импульс ее определяется как геометрическая сумма импульсов всех ее точек или произведение массы всей системы на скорость ее центра масс.

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = m \vec{v}_c,$$

где m — масса всей системы, а \vec{v}_c — скорость ее центра масс.

Изменение импульса системы происходит под действием только внешних сил, т. е. сил, действующих на систему со стороны тел, не входящих в эту систему. Одним из важных законов природы является закон сохранения импульса, который утверждает, что импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени. Для замкнутой системы, в которой не испы-

тывает внешних воздействий или когда геометрическая сумма действующих на систему внешних сил равна нулю, импульс системы сохраняется постоянным. Отсюда следует также, что при любых процессах, происходящих в замкнутой системе, скорость ее центра инерции сохраняется неизменной. Для материальной точки закон сохранения импульса означает, что в отсутствие внешних сил она движется с постоянной скоростью по прямой линии.

Если система не замкнутая, но равнодействующая внешних сил равна нулю, то импульс системы остается постоянным так же, как если бы внешних сил не было совсем. Обычно приходится иметь дело с незамкнутыми системами, для которых равнодействующая внешних сил отлична от нуля и импульс системы не постоянный. Однако если проекция главного вектора внешних сил на какую-либо ось, неподвижную относительно инерциальной системы отсчета, тождественно равна нулю, то проекция на эту же ось вектора импульса системы не зависит от времени. Этот закон называют законом сохранения проекции импульса.

Основополагающим является также закон сохранения момента импульса системы (тела). В классической механике моментом импульса частицы (моментом количества движения) называют векторное произведение:

$$\vec{M} = \vec{r} \cdot \vec{P},$$

где \vec{r} , \vec{P} — радиус-вектор и вектор импульса частицы.

Этот закон утверждает, что момент импульса замкнутой системы тел относительно любой неподвижной точки не изменяется с течением времени. Если момент внешних сил относительно неподвижной оси вращения тела тождественно равен нулю, то момент импульса тела относительно этой оси не изменяется в процессе движения.

Данный закон может быть обобщен на любую незамкнутую систему тел: если результирующий момент всех внешних сил, приложенных к системе, относительно какой-либо неподвижной оси равен нулю, то момент импульса системы относительно той же оси не изменяется с течением времени. В частности, этот закон справедлив для замкнутой системы тел.

В электрических явлениях фундаментальным является закон сохранения электрического заряда. Для замкнутой системы частиц суммарный электрический заряд системы со временем не изменяется, т. е. остается постоянным.

Наиболее ярко проявление законов сохранения мы наблюдаем в мире элементарных частиц. Здесь действует правило: разрешено все, что не запрещают законы сохранения. Последние играют роль правил запрета, регулирующих взаимопревращение частиц. Прежде всего отметим законы сохранения энергии, импульса и электрического заряда. Эти три закона, например, объясняют стабильность электрона. Из сохранения энергии и импульса следует, что суммарная масса покоя продуктов распада должна быть меньше массы покоя распадающейся частицы. Значит, электрон мог бы распадаться только на нейтрино и фотоны. Но эти частицы электрически нейтральны. Вот и получается, что электрону просто некому передать свой электрический заряд; поэтому он стабилен. Существует много специфических параметров, сохранения которых регулирует взаимопревращение частиц, — барионный заряд, лептонный заряд, четность (пространственная, временная, зарядовая), странность, очарование и др. Некоторые из них не сохраняются в процессах, обусловленных слабым взаимодействием (четность, странность, "очарование").

Согласно, например, закону сохранения барионного заряда, в любом процессе должна оставаться неизменной разность между числом барионов и антибарионов. Протон—барион с наименьшей массой; следовательно, среди продуктов его распада барионов быть не может. Этим объясняется стабильность протона — его распад приводил бы к некомпенсированному уничтожению бариона.

8.5. Законы сохранения и принципы симметрии

*Мы рады той таинственности,
которая находится за пределами нашей
достижимости.*

Харлоу Шепли

Среди всех физических законов своей всеобщностью, высшей степени фундаментальностью выделяются законы со-

хранения энергии импульса, момента импульса и ряда других величин. Своим происхождением эти законы сохранения обязаны свойствам симметрии природы. Немецкий математик Эмми Нетер доказала в 1918 г. теорему, сущность которой заключается в утверждении, что различным симметриям физических законов соответствуют определенные законы сохранения. Свойства симметрии природы выражаются в неизменности вида физических законов, т. е. в их инвариантности, при некоторых преобразованиях. Тем самым была математически доказана связь между законами сохранения и симметрией законов природы. По выражению Р. Фейнмана, "среди наиболее мудрейших и удивительных вещей в физике эта связь — одна из самых интересных и красивых".

Симметрия предполагает неизменность объекта или свойств объекта по отношению к каким-нибудь преобразованиям, операциям, выполняемым над объектом. Слово это греческое и переводится как "соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей". Симметрию можно понимать в геометрическом смысле — как симметрию положений. Например, рассмотрение объектов по отношению к отражениям, поворотам, переносам. Симметрия имеет определенную структуру, состоящую из трех факторов: 1) объект или явление, симметрия которого рассматривается; 2) изменение или преобразование, по отношению к которому рассматривается симметрия; 3) инвариантность или неизменность, сохранение каких-либо свойств объекта, выражающих рассматриваемую симметрию.

Важное значение имеет симметрия физических законов, которые в основном связаны со свойствами пространства и времени. Остановимся более подробно на физическом содержании свойств законов по отношению к преобразованиям фундаментальной симметрии.

1. Симметрия по отношению к сдвигу начала отсчета времени, или свойство однородности времени, проявляется в физическом эквиваленте разных его моментов. Разные моменты времени эквивалентны в том смысле, что любой физический

процесс протекает одинаковым образом независимо от того, когда он начался. При этом условия, существенные для процесса, в будущем должны быть такие же, как и в прошлом. Свойство однородности времени позволяет сравнить результаты опытов, проделанных в разное время. Однородность времени нужно понимать как физическую неразличимость всех моментов времени свободных объектов. Другими словами, если объекты не взаимодействуют с окружением, то для них любой момент времени может быть принят за начальный. Мы считаем, что изученные закономерности в поведении атомов были теми же самыми и многие миллионы лет тому назад. Отсутствие однородности времени вело бы к тому, что люди не могли бы прогрессировать в познании.

Однородность времени, т. е. симметрия по отношению к преобразованию $t = t_0 + t'$, приводит к закону сохранения энергии. Этот закон выполняется для систем, находящихся в неизменных во времени внешних условиях. Такие условия создаются только потенциальными внешними полями и называются стационарными. Действительно, выбор начала отсчета времени несущественен, если только неизменны во времени внешние условия, в которых находится система. Энергия, таким образом, может быть определена как физическая величина, сохранение которой обусловлено указанной симметрией.

2. Симметрия по отношению к сдвигу начала координат, или свойство однородности пространства, означает, что все точки физического пространства эквивалентны. Эта эквивалентность выражается в том, что явление, произошедшее в одной области пространства, повторится без изменений, если будет вызвано в другом месте. При этом необходимо перенести в новое место всю совокупность факторов существенно обуславливающих явление. Отметим, что надо сравнивать результаты одинаковых экспериментов, поставленных в разных лабораториях.

Однородность пространства означает, что любая его точка физически равноценна, т. е. перенос любого объекта в пространстве никак не влияет на процессы, происходящие с этим объектом.

Так, мы совершенно уверены, что свойства атомов у нас на Земле, в условиях Луны, других планет и на Солнце одни и те же. Если бы эти кажущиеся столь очевидными свойства однородности пространства и времени отсутствовали, то было бы почти бессмысленно заниматься наукой. В самом деле, представьте себе, к чему бы вело отсутствие однородности пространства — законы физики в Москве были бы одни, в Махачкале — другие.

Однородность пространства, т. е. симметрия по отношению к преобразованию сдвига $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$, приводит к закону сохранения импульса.

Закон сохранения импульса соблюдается для изолированных систем. Импульс, или количество движения, таким образом, является физической величиной, сохранение которой связано с однородностью пространства.

3. Симметрия по отношению к повороту координатных осей, или свойство изотропности пространства, есть физическая эквивалентность направлений в пространстве. Она выражается в том, что в повернутой установке, аппаратуре, лаборатории и т. д. все процессы протекают точно так же, как и до поворота. При этом повороту должно быть подвергнуто все, определяющее течение процесса.

Изотропность пространства, т. е. симметрия по отношению к поворотам, приводит к закону сохранения момента импульса. Этот закон также соблюдается для изолированных систем. Момент импульса частицы или системы сохраняется также центрально-симметричным силовым внешним полем. Момент импульса является величиной, сохранение которой связано с изотропностью пространства.

4. Симметрия по отношению к переходу от покоя к состоянию равномерного и прямолинейного движения, или свойство галилеевской (нерелятивистской) инвариантности, заключается в физической эквивалентности покоя и равномерного прямолинейного движения. В любой системе все процессы происходят независимо от того, покоится система или движется равномерно и прямолинейно, если только переход от одного состояния к другому осуществляется со всем существенным окружением.

Вследствие однородности пространства и времени движение свободного тела (тело, настолько удаленное от всех окружающих тел, что можно пренебречь его взаимодействием с ними) будет равномерным, т. е. за равные промежутки времени тело должно проходить равные расстояния; оно будет к тому же и прямолинейным, ибо пространство "плоское" — Евклидово. Такое движение свободных тел называют движением по инерции. Движение тел по инерции есть проявление своеобразной симметрии пространства и времени, их однородности.

Симметрия относительно перехода к движущейся системе отсчета, т. е. по отношению к преобразованиям Галилея, в нерелятивистском случае приводит к закону сохранения инерции. Он выполняется только для изолированных систем. Закон сохранения импульса недостаточен для обоснования закона сохранения центра инерции. Необходимо знать связь между импульсом и скоростью. Эта связь устанавливается с использованием фундаментальной симметрии относительно переходов от состояния покоя к равномерному прямолинейному движению. Выполнение всех этих законов сохранения в изолированной системе означает эквивалентность всех инерциальных систем, провозглашаемую принципом относительности.

Трехмерность пространства предопределяет векторную природу импульса и момента импульса; закон сохранения этих величин — векторные законы. Одномерность времени предопределяет скалярную природу энергии и соответствующего закона сохранения.

Тот факт, что закон сохранения энергии вытекает из однородности времени, означает, что течение времени само по себе не может вызвать изменение физических состояний системы. Связь закона сохранения импульса со свойством однородности пространства означает, что перемещение системы недостаточно для изменения ее состояния; последнее может произойти только в результате взаимодействия данной системы с другими системами. Связь закона сохранения момента импульса со свойством изотропности пространства означает, что поворот системы в пространстве не изменяет ее свойств.

В классической механике законы сохранения выводят из законов движения. Так, для получения закона сохранения импульса используют второй и третий законы Ньютона. Однако законы сохранения могут быть получены не на основе законов движения, а непосредственно из принципов симметрии. Область применимости законов сохранения шире, нежели область применимости тех или иных законов движения. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса применяются не только в классической механике, но и в квантовой; в то время как законы динамики Ньютона в квантовой механике не работают. Для тех, кто выводит законы сохранения из принципов инвариантности, ясно, что область применения этих законов выходит за рамки любых частных теорий (гравитации, электромагнетизма и т. д.), практически обособленных друг от друга в современной физике. Очевидно, что область применения законов сохранения должна быть столь же широка, как и область применения соответствующих принципов инвариантности. Это дает основание считать законы сохранения универсальными законами.

5. Симметрия относительно зеркального отражения означает, что физические законы не меняются при замене левого на правое, а правого на левое. С симметрией законов природы относительно отражения или частиц и античастиц связаны определенные законы сохранения. С первой симметрией связано сохранение физической величины, называемой пространственной четностью, а со второй — сохранение величины, называемой зарядовой четностью. Оба этих закона сохранения не вполне универсальны, поскольку соответствующие им симметрии нарушаются в слабых взаимодействиях.

Законы сохранения занимают в естествознании особое место. Существует следующая точка зрения на эти законы: они представляют собой наиболее глубокие, фундаментальные законы природы, к которым, возможно, сведутся в будущем все закономерности естествознания. В нашем знании о мире есть три последовательные ступени. На низшей ступени находятся явления, на следующей — законы природы, на третьей — принципы симметрии. Законы природы позволяют предсказать

явления, принципы симметрии позволяют предсказать законы природы. Прогресс в научном познании мира основывается, в конечном счете, на познании принципов симметрии. Но при этом необходимо иметь в виду не просто симметрию, а симметрию в диалектической взаимосвязи с асимметрией.

ВЫВОДЫ

1. Все то, из чего состоит окружающая нас известная сейчас и познаваемая нами часть Вселенной, называют материей. Философское определение материи — это объективная реальность вне и независимо от человеческого сознания и отражаемая им. Материя существует в различных формах (например, вещество, поле).

2. Вещества Вселенной при различных температурах и давлениях могут находиться в четырех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном и плазменном.

3. Мерой различных форм движения материи является энергия. Она бывает в различных видах: механическая, тепловая, внутренняя, химическая, электрическая, магнитная, солнечная, атомная, ядерная, термоядерная и др.

4. Фундаментальными законами природы являются законы сохранения. Существуют законы сохранения различных величин: массы, энергии, количества движения, момента количества движения, заряда и др.

5. В природе существуют принципы симметрии объектов и физических законов. Различным симметриям физических законов в природе соответствуют определенные законы сохранения. Закон сохранения энергии есть следствие однородности времени. Закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства. Закон сохранения момента импульса есть следствие изотропности пространства.

Вопросы для контроля знаний

1. *В чем качественная особенность философского определения материи от естественно-научного его понимания?*
2. *Какими всеобщими свойствами обладает материя?*
3. *Какие основные формы и виды, материи вы знаете?*

4. В чем смысл теоремы Э. Нетер?
5. Какие виды энергии вам известны?
6. Чем обуславливается важность развития энергетики?
7. Дайте краткую характеристику традиционным источникам энергии.
8. Каковы перспективы развития атомной энергетики?
9. Какими факторами обуславливается относительно медленное развитие гелиоэнергетики?
10. Каковы перспективы широкого использования источников энергии ветра, Мирового океана и геотермальных источников?

Глава 9. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

*Истинный химик должен уметь
доказывать познанное... то есть
давать ему объяснение...*

М. В. Ломоносов

9.1. Концептуальные уровни в познании веществ

Закономерности, происходящие в веществах, процессы их превращения, при которых происходит изменение их состава и структуры, изучает раздел естествознания — химия. Она занимается явлениями природы, сопровождающими химические изменения вещества, изучает причины и законы управления химическими процессами, а также рассматривает составные части вещества и их применение на практике. Отдельные химические процессы (получение металлов из руд, крашение тканей и др.) использовались еще на заре становления человеческой цивилизации. Позже, в III—IV вв., зародилась алхимия, задачей которой было превращение неблагородных металлов в благородные (золото, серебро). Начиная с эпохи Возрождения химические исследования все в большей мере стали использовать для практических целей (металлургия, стеклоделие, керамика, получение красок и т. д.).

Химию можно определить как науку, изучающую вещества и процессы их превращения, сопровождающиеся изменением состава и структуры. Химический процесс сопровождается изменением состава веществ, их структуры и обязательно энергетическими изменениями в реагирующей системе. Вследствие взаимосвязанности форм движения материи и их взаимопре-

вращаемости в результате химических реакций имеет место превращение химической энергии в теплоту, свет и проч. Химия нужна человечеству для того, чтобы из вещества природы получать по возможности все необходимое — металлы, цемент, бетон, керамику, фарфор, стекло, каучук, пластмассы, искусственные волокна, лекарства и многое другое.

Основой химической науки является атомно-молекулярное учение (АМУ), закон сохранения материи, периодический закон и теория строения вещества, учение о химическом процессе (кинетика). Химические процессы подчиняются всеобщим законам природы — закону сохранения массы вещества и закону сохранения энергии. Закон сохранения массы вещества открыли М. В. Ломоносов и А. Л. Лавуазье почти независимо друг от друга. Они далеко продвинули развитие химии тем, что при химических реакциях применили физические методы, в частности взвешивание. Закон сохранения массы в химических процессах можно сформулировать так: сумма масс исходных веществ (соединений) равна сумме масс продуктов химической реакции. Например, при разложении воды масса воды будет равна сумме массы водорода и массы кислорода. Из закона сохранения вещества вытекает, что вещество нельзя ни создать из ничего, ни уничтожить совсем. Количественным выражением закона сохранения массы веществ применительно к производственному химическому процессу является материальный баланс, в котором подтверждается, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию, равна массе полученных веществ. Закон сохранения энергии действует во всех случаях и повсюду, где одна форма энергии переходит в другую.

Несмотря на обилие эмпирического материала о свойствах различных веществ и их соединений, особенностях протекания разнообразных реакций, в химии, до открытия в 1869 г. периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева не существовало той объединяющей концепции, с помощью которой можно было бы объяснить весь накопленный фактический материал. Было бы, однако, неправильно не учитывать той громадной исследовательской работы, которая привела к утверждению сис-

темного взгляда на химические знания. Развитие теоретических основ химии диктуется потребностью химического производства совершенствовать управление химическим процессом для получения веществ с заранее заданными свойствами.

Историю развития теоретических основ химии можно представить в виде следующих этапов.

В период зарождения химии как науки (вторая половина XVII в.) возникло **первое концептуальное учение о составе**. Объяснение свойств веществ связывалось с их составом, а изменением состава объяснялось химическое превращение. Последующее становление учения (концептуального уровня) о составе определило открытие стехиометрических законов (закона постоянства состава, закона эквивалентов и закона кратных отношений), развитие понятия химического элемента, представлений о валентности, периодическом законе и периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева, методах исследования состава соединений и др.

Второй концептуальный уровень развития химии связан с зарождением **структурной химии** (XIX в.). Было замечено, что огромное разнообразие веществ растительного и животного происхождения образовано весьма небольшим числом химических элементов (углерод, водород, кислород, азот и некоторые др.). К тому же при одинаковом составе вещества (изомеры) имеют разные свойства. Это означало, что свойства веществ зависят не только от состава, но и от структуры (А. М. Бутлеров разработал основные положения). Если при зарождении химии как науки главным направлением был химический анализ, то с появлением структурной химии стал органический синтез. Сегодня структурная химия строится на квантово-механических представлениях о химической связи, строении молекул и кристаллов, на методах исследования структуры веществ, изучении влияния структуры на свойства веществ и проч.

Третий уровень в развитии химии связан с возникновением (конец XIX в.) и развитием учения **о химическом процессе** — о его принципиальной возможности и условиях протекания. Это было вызвано резким возрастанием потребностей и масштабов

производства продуктов химической переработки нефтяного сырья. Учение о химическом процессе рассматривает энергетику химических процессов, химическое равновесие и условия его смещения, кинетику и механизмы реакций и т. д. Этот уровень познания представляет собой исследование внутренних механизмов и условий протекания химических процессов, таких как температура, давление, скорость протекания реакций и некоторые другие.

Наконец, **четвертый концептуальный уровень** является дальнейшим развитием предыдущего уровня, связанным с более глубоким изучением природы реагентов, участвующих в химических реакциях, а также с применением **катализаторов**, значительно ускоряющих скорость их протекания. На этом уровне мы встречаемся уже с простейшими явлениями самоорганизации, изучаемыми синергетикой.

В наши дни наблюдается **новый уровень** развития химии, который направлен на **создание наиболее экономичного и экологически чистого безотходного химического производства**, использование в промышленных масштабах закономерностей химических превращений живой природы.

Тридцатые годы ознаменовались следующим скачком — появлением теории молекулярных орбиталей (МО). Теория МО позволила успешно описать строение, электронное устройство многих органических соединений. Так, например, были выведены правила, позволяющие предсказать, будет ли еще не синтезированное соединение ароматическим. Концептуальные системы химии изображены на рис. 9.1, в котором вертикальная координата y представляет массив всей теоретической и эмпирической информации, накопленной со времен Бойля и до настоящего времени, а горизонтальная координата t — историческое время.

Как видно, в развитии химии происходит не смена, а строго закономерное последовательное появление концептуальных систем. При этом каждая вновь появляющаяся система не отрицает низлежащую предыдущую, а наоборот, опирается на нее и включает ее в себя в преобразованном виде. Так, например, учение о химических процессах предполагает наличие знаний о составе исходного сырья, о строении молекул исходных реа-

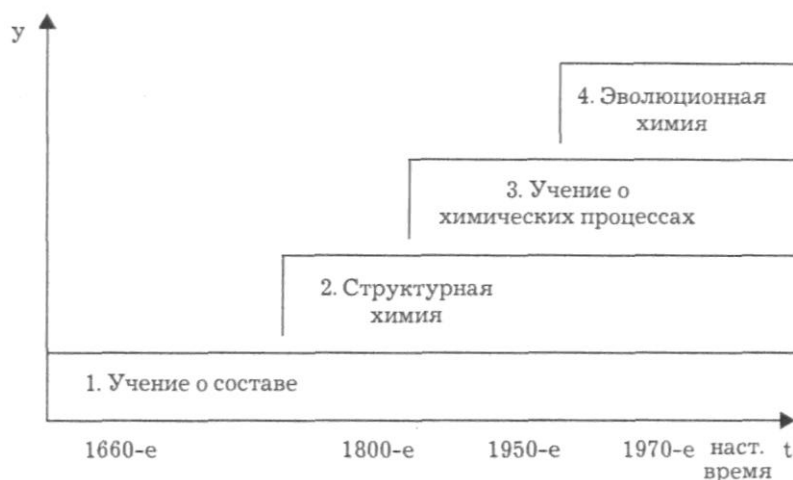


Рис. 9.1. Концептуальные уровни развития химии

гентов и об их реакционной способности, потому что эти знания позволяют химику подобрать исходное сырье для получения целевого продукта. Но этих знаний недостаточно для того, чтобы осуществить химический процесс с максимальным экономическим эффектом и соблюдением экологических требований охраны окружающей среды. Для этого дополнительные знания дает учение о химических процессах — термодинамика, химическая кинетика, химическая технология.

9.2. Состав вещества и химические системы

*Во тьме должны обращаться
физики, а особливо химики, не зная
внутренних, нечувствительных
частиц строения.*

М. В. Ломоносов

В настоящее время **химическим элементом** называют вещество, все атомы которого обладают одинаковым зарядом ядра,

хотя и различаются по своей массе, вследствие чего атомные веса элементов не выражаются целыми числами.

Молекулой по-прежнему называют наименьшую частицу вещества, которая определяет его свойства и может существовать самостоятельно. Однако к молекулам теперь относят также разнообразные другие квантово-механические системы (ионные, атомные монокристаллы, полимеры и другие макромолекулы). Последнее особенно важно для ясного понимания структуры с точки зрения системного подхода, где под **структурой** подразумевают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, благодаря которой и возникают новые целостные ее свойства. В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия составляющих ее атомов определяет свойства молекулы.

Химия изучает процессы превращения молекул при взаимодействиях и при воздействии на них внешних факторов (теплоты, света, электрического тока, магнитного поля), во время которых образуются новые химические связи. Под **химической связью** понимается результат взаимодействия между атомами, выражающийся в создании определенной конфигурации атомов, отличающий один тип молекулы от другого. Химические связи порождают взаимодействие электронных оболочек атомов. Если атомные конфигурации подходят друг к другу, возникает одна округлая структура, несколько большая, чем до этого был каждый атом в отдельности. Так получается насыщенная молекула, и присоединить к ней еще какой-то атом почти невозможно, т. е. химические связи отличаются насыщенностью. С введением понятия валентности ею стали объяснять строение и химические свойства молекул. Наиболее распространены четыре вида химических связей: ионная, ковалентная, металлическая и водородная. Химическая связь, осуществляемая за счет образования общих для взаимодействующих атомов электронных пар, называется ковалентной связью. Химическая связь, в основе которой лежит электростатическое взаимодействие ионов, называется **ионной**. Химическая связь, основанная на обобществлении валентных электронов всех атомов в кристалле, называется

металлической. Химическая связь, обусловленная взаимодействием полярных молекул, одной из которых является водород, называется **водородной**. Химические связи можно рассматривать с точки зрения превращения энергии: если при создании молекулы ее энергия меньше, чем сумма энергий составляющих ее изолированных атомов, то она может существовать, т. е. ее связь устойчива.

Каждое вещество характеризуется определенными физическими и химическими свойствами. Когда какое-нибудь простое вещество вступает в химическую реакцию и образует новое вещество, то оно при этом теряет большинство своих свойств. Например, железо, соединяясь с серой, теряет металлический блеск, ковкость, магнитные свойства и др. Следовательно, в сульфиде железа нет железа, каким мы знаем его в виде простого вещества. Но так как из сульфида железа (FeS) при помощи химических реакций можно снова получить металлическое железо, то говорят что в состав сульфида железа входит элемент железо, понимая под этим тот материал, из которого состоит металлическое железо. Точно так же водород (H) и кислород (O), входящие в состав воды, содержатся в воде не в виде газообразных водорода и кислорода с их характерными свойствами, а в виде элементов — водорода и кислорода. Если же элементы находятся в "свободном состоянии", т. е. не связаны химически ни с каким другим элементом, то они образуют простые вещества.

Долгое время не делалось различия между элементом и простым веществом. Понятие "элемент" в качестве научного термина впервые использовано Р. Бойлем в 1661 г. Со времен Бойля элементом считали всякое простое вещество, которое можно получить в результате разложения сложных веществ, но которое не способно к дальнейшему разложению на еще более простые вещества.

Также была опровергнута флогистонная теория окисления металла многочисленными экспериментами М. В. Ломоносова. Согласно этой теории процесс окисления металла рассматривался как реакция разложения: металл считался сложным веществом, а окалина простым, т. е. железо —» окалина + флогистон.

М. В. Ломоносов, проведя эксперименты в запаянных ретортах, установил, что масса сосуда с прокаленным железом не меняется, если взвесить, не вскрывая его. Французский ученый А. Лавуазье также показал, что горение есть реакция соединения вещества с кислородом воздуха. Лавуазье поставил на ноги всю химию, которая в своей флогистонной форме стояла на голове.

Начало XIX в. ознаменовалось открытием новых количественных закономерностей. Разработка атомно-молекулярной теории позволила Дальтону высказать атомную гипотезу и ввести в химию понятие об относительном атомном весе элементов и определить атомные веса некоторых элементов. По Дальтону, элемент можно определить как вид атомов, характеризующихся определенным значением атомного веса, а простые вещества состоят из определенного вида атомов, следовательно, простые вещества суть элементы. Путаница была устранена позже, когда было установлено, что многие простые вещества образованы из молекул, а не из атомов. Впервые Менделеев в связи с этим указал на необходимость ясно различать два понятия: элемент и простое вещество, или простое тело. Если простому веществу (телу) соответствует понятие о частице, то элементу — об атоме. Углерод есть элемент, а уголь, графит и алмаз суть тела простые.

Пользуясь понятием о химических элементах, можно сказать, что важнейшая задача химии состоит в изучении свойств элементов в отыскании общих закономерностей в их поведении и в отношении между собой. К середине XIX в. насчитывалось уже 63 элемента и был накоплен достаточно богатый экспериментальный материал, касающийся их физических и химических свойств, и были установлены групповые общие свойства. Были накоплены сведения и о таких характеристиках, как атомная масса элементов и их валентность, т. е. способность образовывать различные формы соединений. Прежде всего нужно было решить основной вопрос: являются ли химические элементы разрозненными, независимыми или они закономерно связаны между собой в единую систему.

Первые попытки решения этой задачи относятся к первой половине XIX в. Деберейнер (1829 г.) сгруппировал элементы в триады; Одлинг (1857 г.) разместил 48 элементов в единую таблицу из 13 групп сходственных элементов; Ньюлендс и де Шаркунтуа (1863 г.) распределили 63 элемента в порядке возрастания их атомной массы, была опубликована немецким химиком Л. Мейером таблица элементов, в которой отсутствовали бор, алюминий и водород. Всего попыток классификации было не менее пятидесяти, и все были по существу безуспешны. В основе неудач лежал метафизический способ их мышления. Наконец в 1869 г. Д. И. Менделеев предложил периодическую систематизацию свойств элементов.

Диалектико-материалистический подход к систематизации элементов является основной причиной успеха Д. И. Менделеева. Периодическая система элементов оказала большое влияние на последующее развитие химии, она явилась могучим орудием для дальнейших исследований. На основании периодического закона Д. И. Менделеев предсказал существование 12 новых элементов, причем для трех из них (галий — Ga, германий — Ge и скандий — Sc) описал подробно их свойства. В течение полувека были обнаружены в природе почти все элементы, расположенные до урана. Путеводной нитью для поиска и установления химической природы элементов явился периодический закон и метод предсказания, использованный Д. И. Менделеевым. Периодический закон и периодическая система получили свое полное подтверждение и дальнейшее развитие при установлении строения атомов элементов. Сейчас фактические данные в химии выросли в тысячи раз. Имеются сведения о 8 миллионах индивидуальных химических соединений постоянного состава и миллиардах соединений переменного состава.

Современная формулировка периодического закона следующая: от величины положительного заряда ядра атома зависят все свойства элемента и его положение в периодической системе. Теория строения атома объясняет периодическое изменение свойств элементов при переходе от одного периода к другому: с ростом Z строение электронных оболочек атомов повторяется.

Особенно это касается внешних энергетических уровней, на которых расположены валентные электроны. В пределах одного периода с увеличением заряда ядра наружные слои заполняются постепенно, достигая своей завершенности в атомах благородных газов. Эта последовательность повторяется в каждом периоде, вследствие чего в них наблюдается переход от металлов в начале периода к неметаллам и благородному газу в его конце. В свете теории строения атома периодический закон получил современную формулировку: свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атома.

Атомный вес элемента определяется как среднее арифметическое величин масс изотопов, из которых состоит элемент. Атомы, обладающие одинаковым зарядом ядра (и, следовательно, тождественными химическими свойствами), но разным числом нейтронов, называют изотопами. Например, хлор состоит из двух изотопов с массовыми числами на 75,53% из изотопа ^{35}Cl и на 24,47% — из ^{37}Cl , в результате средняя атомная масса хлора равна 35,453. Открытие изотопов потребовало пересмотра понятия "химический элемент". Химический элемент — это вид атомов, характеризующийся определенной величиной положительного заряда ядра. Существование химического элемента в виде нескольких простых веществ называется аллотропией. Графит, алмаз, уголь — аллотропные видоизменения элемента углерода.

С развитием количественных методов исследования в химии были накоплены экспериментальные факты, обобщение которых привело к открытию так называемых стехиометрических законов — закона постоянства состава, закона эквивалентов и закона кратных отношений. Именно эти законы способствовали окончательному утверждению в химии атомно-молекулярного учения. Основой химической науки являются атомно-молекулярное учение, закон сохранения материи, периодический закон Д. И. Менделеева и теория химического строения.

Основные положения атомно-молекулярного учения заключаются в следующем:

1. Вещества состоят из молекул; молекулы различных веществ отличаются между собой химическим составом, размерами, физическими и химическими свойствами.

2. Молекулы находятся в непрерывном движении; между ними существует взаимное притяжение и отталкивание. Скорость движения молекул зависит от агрегатного состояния веществ.

3. При физических явлениях состав молекул остается неизменным, при химических — они претерпевают качественные и количественные изменения и из одних молекул образуются другие.

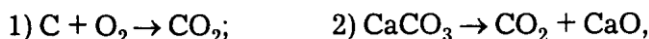
4. Молекулы состоят из атомов. Атомы характеризуются определенными размерами и массой. Свойства атомов одного и того же элемента одинаковы и отличаются от свойств атомов других элементов.

Масса атома, выраженная в атомных единицах массы (а.е.м.), называется относительной атомной массой. $1 \text{ а.е.м.} = 1,667 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Элементы, соединяясь в разных количественных соотношениях друг с другом, образуют химические соединения — сложные вещества. Что собой представляет химическое соединение? Обладает ли сложное вещество переменным или постоянным составом?

Известный французский химик Ж. Пруст в отличие от К. Бертолле считал, что любое химически чистое соединение независимо от способа его получения имеет вполне определенный состав. Именно на этом законе, получившем название **закона постоянства состава**, Ж. Пруст объяснил различие между химическими соединениями и смесями. Например CO_2 (углекислый газ) можно получить несколькими способами:

t^0



но в чистом CO_2 всегда содержится 27,29% С и 72,71% O_2 по массе.

Многие элементы, соединяясь друг с другом, могут образовывать разные вещества, каждое из которых характеризуется

определенным соотношением между массами этих элементов. Так, углерод и кислород образуют оксид углерода — CO и CO_2 —диоксид углерода. Изучая подобные соединения, английский ученый Д. Дальтон, установил **закон кратных отношений**: если два элемента образуют друг с другом несколько соединений, то массы одного из элементов, приходящиеся в этих соединениях на одну и ту же массу другого, относятся между собой как небольшие числа.

Дальтон придерживался атомной теории строения вещества; изучая свойства газов, открыл закон парциальных давлений газов. Закон непосредственно свидетельствовал о том, что элементы входят в состав соединений лишь определенными порциями, что свидетельствует о прерывном строении вещества. Развивая атомно-молекулярную теорию, Дальтон ввел близкое к современному представление об атомах и об относительных атомных массах элементов. Но в отличие от закона сохранения массы, справедливость которого полностью подтверждена открытиями, сделанными после его установления, законы постоянства состава и кратных отношений оказались не столь всеобщими. В связи с открытием изотопов выяснилось, что соотношение между массами элементов, входящих в состав данного вещества, постоянно лишь при условии постоянства изотопного состава этих элементов. Например, тяжелая вода содержит 20% (масс) водорода, а обычная вода лишь 11%.

В начале XX в. (более чем через 100 лет) русский ученый Н. С. Курнаков, изучая сплавы металлов, открыл соединения переменного состава, в которых на единицу массы данного элемента может приходиться различная масса другого элемента. Для многих соединений переменного состава установлены пределы, в которых может изменяться их состав, и формула TiO_2 более точно выражает свой состав в виде $\text{TiO}_{1,9-2,0}$. Конечно, такого рода формулы указывают не состав молекулы (вещества имеют атомную структуру), а лишь отражают границы состава вещества. Периодическая система представляет пример упорядоченного конечного счетного множества химических элементов. А можно ли подобным образом упорядочить множество химических соединений, число которых хоть и велико, но не безгранично? И вот

оказалось, что вещества с одинаковыми суммами атомных номеров, молекулярных масс и плотностями обладают чрезвычайно близкими физико-химическими свойствами. Достаточно знать химический состав вещества и его плотность, чтобы предсказать и все его прочие свойства. Н. С. Курнаков предложил назвать соединения бертоллоидами в честь К. Бертолле, который впервые предсказал существование веществ переменного состава.

Таким образом, существует обширный класс соединений, не подчиняющихся стехиометрическим соединениям, законам, т. е. нарушение законов связано с вполне определенным агрегатным состоянием вещества.

В принципе, нет четкой границы между соединениями постоянного и переменного состава с точки зрения современной физики. Соединение может быть образовано и из атомов одного химического элемента — простое вещество. Сложное вещество образовано из атомов различной природы, т. е. в состав молекулы сложных веществ входят различные элементы. Вода образована атомами водорода и кислорода, а вещество кислород только из молекул одного элемента — кислорода. Но один элемент кислород образует два аллотропных видоизменения простых веществ кислород и озон, которые отличаются строением, структурой, физическими и химическими свойствами.

9.3. Структура вещества и его свойства

*Надо было исследовать предметы,
прежде чем можно было приступить к
исследованию процессов. Надо сначала
знать, что такое данный предмет,
чтобы можно было заняться теми
изменениями, которые с ним
происходят.*

Ф. Энгельс

Характер любого химического соединения зависит не только от качественного и количественного состава, но и от взаимного

влияния атомов и строения молекулы — мельчайшей химической системы.

Вещества, имеющие одинаковую молекулярную формулу, называют **изомерами**, а само явление — **изомерией**. Формулу C_4H_8O имеет 21 вещество. Долгое время вплоть до XVIII в. химики не делали различия и между минеральными и органическими веществами. Именно явление изомерии заставляет, не довольствуясь установлением молекулярной формулы, идти дальше, выясняя детали внутреннего строения молекул органических веществ, структуру соединения. Структуру молекул органических соединений пытался объяснить шведский химик Й. Берцелиус в своей теории радикалов. В ней он наивно полагает, что структура молекул зависит от электрических зарядов в молекулах органических соединений.

На смену теории радикалов пришла теория типов французского ученого Ш. Жерара, которая рассматривала органические соединения как производные простейших веществ: водорода, воды, аммиака. Формулы получались сходные с современными, но в них вкладывалось содержание совершенно иное: формулы теории типов — это только формулы превращения. Внутреннее строение молекул считали непознаваемым, становясь на позицию агностицизма — философского учения, ставящего границы человеческому познанию. "Анархия" в химии пошла на убыль благодаря работам Э. Франкланда и Ф. Кекуля. В химии утвердилось понятие о валентности, в частности развилось представление о четырехвалентности углерода. Благодаря трудам С. Канниццаро была внесена ясность в вопрос об атомных и молекулярных массах, об эквивалентах.

Таким образом, к 1860 г. было достигнуто понимание фундаментальных понятий химии (атом, молекула, эквивалент, валентность), признана справедливость закона Авогадро. Все это способствовало развитию химии в области получения веществ с заранее заданными специфическими свойствами, что являлось крупным шагом вперед. Дальнейшее развитие теория строения находит в трудах русского ученого А. М. Бутлерова. Атомы в органических молекулах связаны друг с другом в определенном

порядке химическими силами (силами валентности). Теория Бутлерова потому и названа теорией химического строения, что она указывала не на пространственное сорасположение атомов в молекуле, а на распределение действия химических сил сродства. Она указывала на причины активности одних веществ и пассивности других. Более того, она указывала на наличие активных центров и активных группировок в структуре молекулы. И именно поэтому она стала для химиков действенным руководством в практике синтеза органических веществ. Идеи об энергетической неэквивалентности химических связей, обусловленной взаимным влиянием атомов в структуре молекулы, являются главным содержанием понятия "структура" в теории Бутлерова.

Теория химического строения Бутлерова нашла физические обоснования в квантовой механике. Сегодня под структурой молекул мы понимаем и пространственную, и энергетическую упорядоченность квантово-механической системы, состоящей из атомных ядер и электронов и обладающей единой молекулярной орбиталью. Вообще же понятию "структура" в химии можно дать единое определение: структура — это устойчивая упорядоченность качественно неизменной системы, каковой является молекула. Воззрения Кекуле и Бутлерова превратили химию из науки аналитической, занимающейся изучением состава готовых веществ, в науку преимущественно синтетическую, способную создавать новые вещества и новые материалы. Пространственная структура расположения атомов в молекуле, особенно в органической химии, определяет свойства веществ и особенности химических реакций.

Структуру устанавливают физическими методами — ядерный магнитный резонанс, электронография, масс-спектрометрия и др. Формулы строения выражают порядок химической связи атомов и каждое вещество имеет одну определенную формулу строения, отражающую порядок химической связи атомов в реально существующей молекуле. Физические и химические свойства органических соединений определяются составом и строением их молекул. В то же время можно было судить лишь

о химическом строении — порядке химической связи атомов. В настоящее время имеется возможность определять пространственное строение: определять распределение электрических зарядов — электронное строение. Все три особенности строения составляют одно качественное целостное строение органического соединения. Например, формула C_2H_6O отвечает двум различным веществам: диметиловый эфир CH_3OCH_3 , этиловый спирт C_2H_5OH . Благодаря успехам химии и физики, в настоящее время знают, что химические явления связаны с процессами, происходящими в электронной оболочке атомов.

В определении строения молекулы как единой целостной системы все больше стали применять различные физико-химические методы, основанные на законах квантовой механики. К таковым относятся: рефрактометрия, спектроскопия, спектральный ядерный магнитный резонанс (ЯМР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). В настоящее время разработаны методы исследования структуры и свойств химических волокон и пленок акустическим методом.

Многочисленные опыты проводятся в области зависимости структуры вещества от его биологической активности. В связи с этим заслуживает внимания новый метод количественных соотношений структура—активность (сокращенно — КССА), уже зарекомендовавший себя в фармакологии, но пригодный для поиска любых веществ с заранее заданными свойствами.

Таким образом, эволюция понятия химической структуры осуществлялась в направлении, с одной стороны, анализа ее составных частей или элементов, а с другой — установления характера физико-химического взаимодействия между ними. Последнее особенно важно для ясного понимания структуры с точки зрения системного подхода, где под структурой подразумевают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, благодаря которой и возникают новые целостные ее свойства. В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия составляющих ее атомов определяет свойства молекулы.

9.4. Химические процессы

*О значительнейших вещах не будем
судить слишком быстро.*

Гераклит

Химический процесс (от лат. *processus* — продвижение) представляет собой последовательную смену состояний вещества, тесную связь следующих друг за другом стадий развития, представляющую непрерывное, единое движение. Учение о химических процессах — это область науки, в которой существует наиболее глубокое взаимопроникновение физики, химии и биологии. Химические процессы подразделяются на: **гомо- и гетерогенные** (в зависимости от агрегатного состояния реагирующих систем), **экзо- и эндотермические** (в зависимости от количества выделяющейся и поглощаемой теплоты), **окислительные, восстановительные** (в зависимости от отношения к кислороду) и др.

Все процессы, которые протекают вокруг нас, можно объединить в три большие группы.

1. Самопроизвольные процессы, которые можно использовать для получения энергии или совершения работы. Условиями протекания самопроизвольных процессов или законами термодинамики, характеризующими их, являются: а) в изолированной системе, т. е. в системе, для которой исключен любой материальный или энергетический обмен с окружающей средой, сумма всех видов энергии есть величина постоянная; б) изменение энтальпии (тепловой эффект процесса, ΔH) зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов и не зависит от пути перехода. Он носит название закона Гесса и сформулирован им в 1840 г.

2. Процессы, для осуществления которых требуется затрата энергии или совершение работы.

3. Самоорганизация химической системы, т. е. самопроизвольный процесс, проходящий без изменения энергетического запаса системы, совершается только в направлении, при котором

порядок в системе увеличивается, т. е. где энтропия уменьшается.

Способность к взаимодействию различных химических реагентов определяется не только их атомно-молекулярной структурой, но и условиями протекания химических реакций. Процесс превращения одних веществ в другие называется химической реакцией. К условиям протекания химических процессов относятся прежде всего термодинамические факторы, характеризующие зависимость реакций от температуры, давления и некоторых других условий. На скорость химической реакции также влияют следующие условия и параметры:

1) **природа** реагирующих веществ (например, щелочные металлы растворяются в воде с образованием щелочей и выделением водорода и реакция протекает при обычных условиях моментально, а цинк, железо и другие реагируют медленно и с образованием оксидов, а благородные металлы не реагируют вообще);

2) **температура**. При повышении температуры на каждые 10 °С скорость реакции увеличивается в 2-4 раза (правило Вант-Гоффа). Со многими веществами кислород начинает реагировать с заметной скоростью уже при обыкновенной температуре (медленное окисление). При повышении температуры начинается бурная реакция (горение);

3) **концентрация**. Для веществ в растворенном состоянии и газов скорость химических реакций зависит от концентрации реагирующих веществ. Горение веществ в чистом кислороде происходит интенсивнее, чем в воздухе, где концентрация кислорода почти в 5 раз меньше. Здесь справедлив закон действующих масс: при постоянной температуре скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентрации реагирующих веществ;

4) **площадь поверхности реагирования**. Для веществ в твердом состоянии скорость прямо пропорциональна поверхности реагирующих веществ. Железо и сера в твердом состоянии реагируют достаточно быстро лишь при предварительном измельчении и перемешивании: горение хвороста и полена;

5) катализатор. Скорость реакции зависит от катализаторов, веществ которые ускоряют химические реакции, но сами при этом не расходуются. Разложение бертолетовой соли и пероксида водорода ускоряется в присутствии оксида марганца (IV) и др.

Для вступления в химическую реакцию необходимо преодолеть некоторый энергетический барьер, соответствующий энергии активации, возможность накопления которой сильно зависит от температуры. Многие реакции долгое время не могут закончиться. В таком случае говорят, что реакция достигла химического равновесия. Химическая система находится в состоянии равновесия, если выполняются следующие три условия:

- 1) в системе не происходит энергетических изменений ($\Delta H = 0$);
- 2) не происходит изменений степени беспорядка ($\Delta S = 0$);
- 3) не изменяется изобарный потенциал ($\Delta J = 0$).

Вант-Гофф, используя термодинамический подход, классифицировал химические реакции, а также сформулировал основные положения химической кинетики. Химическая кинетика изучает скорости протекания химических реакций. Ле Шателье сформулировал закон смещения химического равновесия в химических реакциях под влиянием внешних факторов — температуры, давления и др. Согласно принципу Ле Шателье, если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказывается внешнее воздействие (изменяется температура, давление или концентрация), то положение равновесия химической реакции смещается в ту сторону, которая ослабляет данное воздействие.

Химические реакции классифицируют по изменению качества исходных веществ и продуктов реакции на следующие виды:

реакции соединения — реакции, при которых из нескольких веществ образуется одно вещество, более сложное, чем исходные;

реакции разложения — реакции, при которых из одного сложного вещества образуется несколько веществ;

реакции замещения — реакции, при которых атомы одного элемента замещают атом другого элемента в сложном веществе и при этом образуются два новых — простое и сложное;

реакции обмена — реакции, при которых реагирующие вещества обмениваются своими составными частями, в результате

чего из двух сложных веществ образуются два новых сложных вещества.

По тепловому эффекту химические реакции можно подразделить на **экзотермические** — с выделением теплоты и **эндотермические** — с поглощением теплоты. С учетом явления катализа реакции могут быть **каталитические** — с применением катализаторов и **некаталитические** — без применения катализаторов. По признаку обратимости реакции делят на **обратимые** и **необратимые**.

В. Оствальд, исследуя условия химического равновесия, пришел к открытию явления катализа. Оказалось, что в большой степени характер и особенно скорость реакций зависят от кинетических условий, которые определяются наличием катализаторов и других добавок к реагентам, а также влиянием растворителей, стенок реактора и иных условий. Явление **катализа** — селективного ускорения химических процессов в присутствии веществ (катализаторов), которые принимают участие в промежуточных процессах, но регенерируются в конце реакции, широко используется в промышленности, например фиксация азота и водорода, контактный способ производства серной кислоты и многие другие. Впервые синтез аммиака был осуществлен в 1918 г. на основе работ Габера, К. Боша и А. Митташа с помощью катализатора, представляющего собой металлическое железо с добавками окисей калия и алюминия, при температуре 450-550 °С и давлении 300-1000 атмосфер. В настоящее время большое внимание уделяют применению металлоорганических и металлокомплексных катализаторов, отличающихся высокими селективностью и избирательностью действия. Тот же самый процесс синтеза аммиака при использовании металлоорганического катализатора удалось осуществить при обычной температуре (18 °С) и нормальном атмосферном давлении, что открывает большие перспективы в производстве минеральных азотных удобрений. Особенно велика роль катализа в органическом синтезе. Крупнейшим успехом в этом направлении надо признать получение искусственного синтетического каучука из этилового спирта, осуществленное советским академиком С. В. Лебедевым в 20-х годах XX века.

Ферменты, или биокатализаторы, играют исключительную роль в биологических процессах и технологии веществ растительного и животного происхождения, а также в медицине. В настоящее время известно свыше 750 ферментов, и их число ежегодно увеличивается. Ферменты являются бифункциональными и полифункциональными катализаторами, так как здесь имеет место согласованное воздействие двух или нескольких групп катализаторов различной природы в составе активного центра фермента на поляризацию определенных связей субстрата. Эта же концепция лежит в основе каталитического действия фермента и теории кинетики действия ферментов. Главное отличие ферментов от других катализаторов заключается в исключительно высокой активности и ярко выраженной специфичности.

Самоорганизация химических систем в биологические, их единство и взаимосвязь подтверждает синтез органических соединений из неорганических. В 1824 г. немецкий химик Ф. Велер, ученик Берцелиуса, впервые получил из неорганического дициана N-C-C-N при нагревании его с водой щавелевую кислоту HOOC-COOH — органическое соединение. Также было получено новое органическое вещество — мочевина (карбамид) из цианистого аммония. В 1854 г. во Франции М. Бертло синтетическим путем получил жир. Наибольшим успехом химии 50-60-х гг. XX в. явился первый синтез простых белков — гормона инсулина и фермента рибонуклеозы.

9.5. Эволюция химических систем и перспективы химии

*Все наши значим — прошлые,
настоящие и будущие — ничто по
сравнению с тем, что мы никогда
не узнаем.*

К. Э. Циолковский

Под эволюцией химической системы понимают самопроизвольный синтез новых химических соединений, являющихся более сложными и более высокоорганизованными продуктами по

сравнению с исходными веществами. Химики сегодня пришли к выводу, что, используя те же принципы, на которых построена химия организмов, в будущем можно будет построить принципиально новую химию, новое управление химическими процессами, где начнут применять принципы синтеза себе подобных молекул. По принципу ферментов будут созданы катализаторы такой степени специфичности, что далеко превзойдут существующие в нашей промышленности. Хотя химия в настоящее время еще далека от решения этих проблем, но намечены следующие пути решения этой задачи:

1. Развитие исследований в области металлокомплексного катализа с постоянной ориентацией на соответствующие объекты живой природы. Сегодня металлокомплексный катализ постепенно обогащается такими приемами, которыми пользуются живые организмы в ферментативных реакциях, а также приемами классического гетерогенного катализа.

2. Освоение каталитического опыта живой природы, заключающегося в определенных успехах моделирования биокатализаторов. Для решения проблемы освоения каталитического опыта живой природы необходимо изучение законов химической эволюции и происхождения жизни.

3. Использование достижений иммобилизованных систем. Сущность иммобилизации состоит в закреплении выделенных из живого организма ферментов на твердой поверхности путем адсорбции, которая превращает последние в гетерогенный катализатор и обеспечивает его стабильность и непрерывное действие, т. е. осуществляется биоорганический катализ.

4. Развитие исследований, ориентированных на применение принципов биокатализа в химии и химической технологии. Характеризуется изучением и освоением всего каталитического опыта живой природы, в том числе и опыта формирования самого фермента, клетки и даже организма, т. е. это пролог к принципиально новой химической технологии, способной стать аналогом живых систем.

Успехи химии экстремальных состояний, каталитической химии, в областях металлокомплексного катализа, модели-

рования биокатализаторов, химии и технологии иммобилизованных систем, "нестационарной технологии", важным звеном которой должна стать теория саморазвития открытых каталитических систем, позволяют видеть в ближайшей перспективе богатейшие возможности развития новой химии. Эта новая химия уже теперь становится способной решать такие задачи, для реализации которых до сих пор еще не было предпосылок.

В частности, в области тяжелого органического синтеза это задачи: а) значительного ускорения химических превращений в мягких условиях за счет объединения в катализаторах будущего достоинств гетерогенного, гомогенного и металлоэнзимного катализа; б) достижение близкой к 100% селективности процессов; в) осуществление новых важных энергетически затрудненных процессов за счет сопряжения эндо- и экзотермических реакций; г) существенной экономии углеводородного сырья и перехода от нефти к углю как более распространенному сырьевому источнику. Химия теперь имеет реальные предпосылки и для решения таких общих задач, как: а) моделирование и интенсификация фотосинтеза; б) фотолиз воды с получением водорода как самого высокоэффективного топлива; в) промышленный синтез широкого спектра органических продуктов, и в первую очередь метанола, этанола, формальдегида и муравьиной кислоты, на основе углекислого газа; г) промышленный синтез многочисленных фторматериалов.

Все это является залогом успешного претворения в жизнь задач по созданию малоотходных, безотходных и энергосберегающих промышленных процессов, рачительного использования каждого килограмма сырья и каждого киловатта энергии для производства необходимых материалов.

ВЫВОДЫ

1. Состав, структуру вещества и закономерности их взаимопревращений изучают в химии, которая является одним из разделов естествознания.

2. Основой химической науки является атомно-молекулярное учение, закон сохранения материи, периодический закон, теория строения вещества, учение о химическом процессе.

3. Вещество состоит из молекул, а молекулы из атомов. Атомы в молекулах удерживаются химическими связями. Химические связи отличаются насыщенностью. Валентность атомов определяет характер строения и химические свойства молекул.

4. Структура вещества, под которой понимают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, определяет целостные ее свойства.

5. Для вступления в химическую реакцию необходимо преодолеть некоторый энергетический барьер, соответствующий энергии активации, возможность накопления которой сильно зависит от температуры. К условиям протекания химических процессов относятся прежде всего термодинамические факторы, характеризующие зависимость реакций от температуры, давления и некоторых других условий. В еще большей степени характер и особенно скорость реакций зависят от кинетических условий, которые определяются наличием катализаторов и других добавок к реагентам, а также влиянием растворителей, стенок реактора и иных условий.

6. Актуальными проблемами современной химии являются вопросы самоорганизации и эволюции химических систем, использование катализа и биокатализа.

Вопросы для контроля знаний

1. Назовите основные этапы эволюции химических систем.
2. Назовите основные перспективные направления развития современной химии.
3. Чем определяются химические свойства вещества?
4. Как объяснялись свойства в процессе эволюции химических знаний?
5. Кто впервые указал на зависимость свойств вещества от их состава?
6. В чем сущность теории Бутлерова?

7. *От каких факторов зависит активность химических процессов?*
8. *Назовите основные направления в развитии учения о составе вещества.*
9. *Как называются химические соединения постоянного состава?*
10. *Какое общее название носят химические соединения переменного состава?*
11. *Чем обуславливаются химическая связь и свойства атомов?*
12. *Какая связь существует между атомным весом и зарядом ядра атома?*
13. *Перечислите основные уровни химических структур.*
14. *От чего зависит динамика химических процессов?*
15. *Какие вещества называют катализаторами?*
16. *Какую роль играет катализ в эволюции химических систем?*
17. *Какие функции выполняют ферменты?*

Глава 10. ПРИРОДА МЕГАМИРА

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

И.Кеплер

10.1. Расстояния и размеры в мегамире

Вопрос о том, что представляет собой Космос, окружающий Землю, нельзя было решить раньше, чем были определены расстояния до небесных тел. И это уточнение масштабов мира продолжалось почти 2500 лет. Какими только единицами не измерялись эти расстояния, начиная от греческих стадий и кончая сегодняшними мегапарсеками! Оставим эволюцию методов измерения расстояния до небесных тел и рассмотрим основные методы, с помощью которых мы сейчас определяем геометрические размеры Космоса и расстояния до небесных тел.

Основным методом измерения расстояния до небесных тел является метод параллактического смещения или тригонометрического параллакса, когда измеряется угол, под которым наблюдается небесное тело, до которого определяется расстояние, с различных точек наблюдения. Расстояние между точками, из которых наблюдается небесное тело, называют базисом. Зная величину базиса и угла наблюдения, по формулам тригонометрии можно определить расстояние до небесного тела. Угол, под которым виден базис с небесного тела, до которого определяется расстояние, называется **параллаксом**. При данном расстоянии до небесного тела параллакс тем больше, чем больше базис.

В пределах Солнечной системы в качестве базиса используют радиус Земли и метод измерения расстояний называют методом суточного параллакса. Угол, под которым со светила, находящегося на горизонте, был бы виден радиус Земли, называется горизонтальным суточным параллаксом светила. Конечно, со светила никто не наблюдает радиус Земли, а горизонтальный параллакс определяют по измерениям максимальной высоты светила из двух точек земной поверхности, находящихся на одном географическом меридиане и имеющих известные географические широты.

Наибольший горизонтальный суточный параллакс имеет ближайшее к Земле небесное тело — Луна ($p_{\text{л}} = 57'$). Параллаксы планет и Солнца составляют всего лишь несколько секунд ($p_{\text{с}} = 8'', 8$). Масштабы расстояний в мире небесных тел заставляют астрономов пользоваться гораздо более крупными единицами измерения расстояний, чем километры. Одной из таких единиц является астрономическая единица (а.е.), равная среднему расстоянию от Солнца до Земли ($1 \text{ а.е.} = 149,6 \text{ млн км}$). До Меркурия от Солнца $= 0,4 \text{ а.е.}$, а расстояние до самой далекой планеты Плутон можно принять как размер Солнечной системы и равно примерно 40 а.е.

Во второй половине XX в. возникла идея метода непосредственного определения расстояния до небесных тел. Он заключается в том, что на небесное тело посылают мощный кратковременный радиоимпульс, а затем принимают отраженный сигнал. Зная скорость распространения света в вакууме $c = 300\,000 \text{ км/с}$ и время распространения, определяют расстояние. Радиолокационные наблюдения позволили с большей точностью определить расстояние до небесных тел в Солнечной системе. Этим методом уточнены расстояния до Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера. Вскоре после изобретения мощных источников светового излучения — оптических квантовых генераторов (лазеров) — стали проводить опыты по лазерной локации Луны. Метод лазерной локации аналогичен радиолокации, однако точность измерения значительно выше. Оптическая лазерная локация дает возможность определить расстояние между выбранными

точками лунной и земной поверхностей с точностью до сантиметров, что позволяет изучить рельеф поверхности небесных тел. Метод параллакса пригоден и для определения расстояний до ближайших звезд. Только в качестве базиса используется не радиус Земли, а средний радиус земной орбиты, и метод определения расстояния до звезд по углу, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты, называют годичным параллаксом (рис. 10.1).

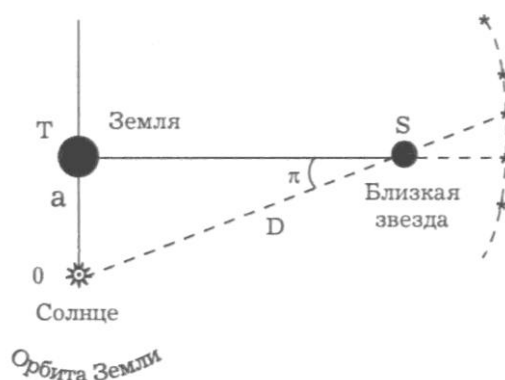


Рис. 10.1. Годичный параллакс звезды

Расстояние до звезды, которое соответствует годичному параллаксу в $1''$, называется парсеком (от слов "параллакс" и "секунда", обозначается пк. $1\text{ пк} = 206\,265\text{ а.е.}$). Эта единица используется в звездной астрономии, так как не только километр, но даже астрономическая единица слишком мала для измерения расстояний до звезд. Самая близкая к нам звезда после Солнца находится в созвездии Центавра (Проксима Центавра или Кентавра). Ее годичный параллакс — $0'',76$, что соответствует $1,33\text{ пк}$. Дадим соотношение между километром, астрономической единицей, парсеком и световым годом, расстоянием, которое свет проходит за год.

$$1\text{ пк} = 3,26\text{ св.г.} = 206\,265\text{ а.е.} = 3 \cdot 10^{13}\text{ км.}$$

Измерение параллактического смещения звезд хотя и очень трудоемко, но является самым надежным, фундаментальным способом определения их расстояний. Естественно, что это смещение заметно только у сравнительно близких звезд. В настоящее время оно определяется по четырем фотографиям звездного неба, полученным на протяжении года через интервалы времени в три месяца. К настоящему времени тригонометрические параллаксы определены примерно у 7500 звезд.

Расстояние до более далеких звезд определяется по периоду изменения блеска (светимости) звезд — цефеид. Цефеиды — это пульсирующие звезды, которые периодически раздуваются и сжимаются. Между периодом (P) пульсации долгопериодических цефеид и светимостью этих звезд существует зависимость, получившая название "период-светимость". Если из наблюдений известен период изменения блеска цефеиды, то, пользуясь зависимостью период-светимость, можно определить ее абсолютную звездную величину (M), которая равна видимой звездной величине (m) этой звезды с расстояния 10 пк по формуле $M = 0,2 (2 - \lg P)$. Тогда по формуле $\lg r = 0,2 (m - M) + 1$ легко вычислить расстояние до цефеиды, зная из наблюдений ее видимую звездную величину (m). Так как цефеиды относятся к звездам-гигантам и сверхгигантам (т. е. тем, которые имеют огромные размеры и светимости), то они видны с больших расстояний. Обнаруживая цефеиды в далеких звездных системах, можно определить расстояние до этих систем (рис. 10.2).

До более далеких галактик, у которых наблюдаются вспышки сверхновых звезд (у которых происходит внезапное резкое увеличение светимости), расстояние можно оценить исходя из того, что все сверхновые, как это следует из наблюдений, имеют примерно одинаковую абсолютную звездную величину в максимуме блеска M_{\max} . В этом случае по наблюдаемой величине M_{\max} можно найти модуль расстояния и расстояние до этой галактики.

Имеются и другие способы определения расстояний до галактик, но мы остановимся лишь на одном, применяемом для оценки расстояний до далеких галактик.



Рис. 10.2. Сравнительная шкала размеров во Вселенной
(по оси показатель степени десяти)

В спектрах далеких галактик спектральные линии смещены в сторону красного конца спектра. Это явление получило название красного смещения и вызвано удалением галактик. В 1929 году американский астрофизик Э. Хаббл установил закономерность, называемую ныне законом Хаббла: лучевые скорости галактик (v_r) пропорциональны расстояниям до них (r). $v_r = H \cdot r$. В этом законе коэффициент пропорциональности H называется постоянной Хаббла. Расстояния до далеких галактик оказались настолько большими, что их приходится выражать не в парсеках (пк) и килопарсеках (кпк), а в мегапарсеках (Мпк). В настоящее время значение красного смещения измерено в спектрах более 15 000 галактик, причем оказалось, что лучевые скорости наиболее далеких превышают 100 000 км/с, а их расстояния составляют сотни и тысячи мегапарсеков, т. е. свет от них доходит до нас за сотни миллионов и миллиарды лет.

Для определения масс небесных тел важное значение имеет обобщение Исааком Ньютоном третьего закона Кеплера на любые системы обращающихся тел. Если, в частности, массивным (центральным) телом является Солнце с массой M_0 , то для него и

двух движущихся вокруг него планет с массами m_1 и m_2 третий закон Кеплера будет иметь вид:

$$\frac{T_1^2 (M_0 + m_1)}{T_2^2 (M_0 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

т. е. квадраты периодов обращения (T_1^2 и T_2^2), умноженные на сумму масс Солнца и планеты ($M_0 + m_1$ и $M_0 + m_2$), относятся как кубы больших полуосей орбит планет (a_1^3 и a_2^3). Можно применить третий закон Кеплера и к другим системам, например к движению планет вокруг Солнца и спутника вокруг планеты. Обозначим массы Солнца, планеты и ее спутника соответственно через M_0 , m и m_1 периоды обращения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты — через T и T_1 и, наконец, средние расстояния планеты от Солнца и спутника от планеты — через a и a_1 . Тогда третий закон Кеплера можно записать в виде:

$$\frac{T^2 (M_0 + m)}{T_1^2 (m + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}.$$

Масса Солнца больше, чем сумма масс всех тел Солнечной системы, в 750 раз, больше, чем масса Юпитера, в 1050 раз, больше, чем масса Земли в 330 000 раз, т. е. $M_0 \gg m$. Масса планеты обычно также очень велика по сравнению с массой спутника (исключение составляют Земля и Луна, а также Плутон с его спутником Хароном), т. е. $m \gg m_1$. Поэтому с достаточной степенью точности можно вычислить отношение массы Солнца к массе планеты по формуле

$$\frac{M_0}{m} = (T_1 / T)^2 \times (a / a_1)^3.$$

Эта формула получена из рассмотрения движения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты. Аналогичный вид будет иметь формула для определения массы планеты, имеющей спутника, если эту систему небесных тел сравнить с другой планетой и ее спутником:

$$\frac{m_1}{m_1'} = (T_1 / T)^2 \times (a' / a_1^1)^3,$$

где m_1 и m_1^1 — массы сравниваемых планет; T и T_1 — периоды обращения спутников планет; a^1 и a_1^1 — средние расстояния между спутниками планет. Массы небесных тел, не имеющих спутников, определяют по величине силы притяжения, которое оказывает данное небесное тело на другие небесные тела. Отклонения в движении небесного тела под действием притяжения со стороны небесного тела, массу которого необходимо измерить, называют в небесной механике возмущениями. По величине возмущения можно определить массу неизвестного небесного тела. Примером этого является открытие Нептуна и Плутона. Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн более известны людям с глубокой древности. Планету, находящуюся за орбитой Сатурна и не видимую невооруженным глазом, открыл в 1781 г. с помощью телескопа английский астроном (профессиональный музыкант, который начал заниматься астрономией как любитель) Уильям Гершель. Она была названа Ураном. Основываясь на законах небесной механики, астрономы вычислили орбиту Урана, но довольно скоро выяснилось, что в движении новой планеты заметны отклонения от кеплеровской орбиты. Наблюдаемые отклонения могли означать либо то, что действие закона всемирного тяготения ограничено лишь близкими планетами, либо то, что за Ураном есть еще какая-нибудь планета, возмущающая его движение. Определив величину возмущения, астрономы решили попытаться открыть новую планету, вычислив ее положение в пространстве. Независимо друг от друга такую задачу удалось решить двум молодым математикам — англичанину Джону Адамсу и французцу Урбену Леверье. Астроном Берлинской обсерватории Иоганн Галле, получив телеграмму от Леверье с просьбой поискать планету в указанном месте, 23 сентября 1846 г. обнаружил в созвездии Водолея светило, которого не было на звездной карте. Так была открыта восьмая планета Солнечной системы. Это был триумф небесной механики, торжество гелиоцентрической системы. Таким же образом по возмущениям Нептуна американский астрофизик П. Ловелл вычислил, а Томбо в 1930 г. обнаружил девятую планету Солнечной системы — Плутон.

Массы звезд определяют также по результатам наблюдений двойных звезд. К системам двойных звезд применимы закон всемирного тяготения и обобщенные Ньютоном законы Кеплера. Пусть массы главной звезды с большей массой M_1 , а ее спутника, обращающегося вокруг главной M_2 , период обращения спутника обозначим через T , большая полуось орбиты спутника — A . Тогда, обозначив через M_c и M_3 массы Солнца и Земли, T_3 — период обращения Земли, a — большую полуось земной орбиты, можно написать:

$$\frac{(M_1 + M_2)T^2}{(M_c + M_3)T_3^2} = \frac{A^3}{a^3}.$$

Если принять массу Солнца за единицу ($M_c = 1$) и учесть, что $M_3 \ll M_c$, $T_3 = 1$ год, $a = 1$ а.е., то

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{T^2}.$$

Величина A связана с годичным параллаксом звезды (p) и угловым расстоянием между компонентами (α) простым соотношением

$$A = a / p,$$

где a и p выражены в секундах дуги, а расстояние A — в астрономических единицах.

$$\text{Тогда } M_1 + M_2 = \frac{\alpha^3}{\pi^3 p^2}.$$

Массы звезд в отличие от их светимостей и размеров различаются не очень сильно. Наиболее массивные звезды больше, чем Солнце, в 50-80 раз, а наименьшие по массам звезды составляют 0,05 массы Солнца, хотя в данном случае следует говорить уже не о звезде, а об объекте, по своей природе близком к планетам.

10.2. Земля как планета и природное тело

*Ты разумом вникни поглубже, пойми,
Что значит для нас называться
людьми...
Земное с небесным в тебе сплетено,
Два мира связать не тебе ли дано?*
Фирдоуси

Земля кажется нам такой огромной, такой надежной и так много значит для нас, что мы не замечаем ее второстепенного положения в семье планет. Единственное слабое утешение состоит в том, что Земля — наибольшая из планет земной группы. К тому же она обладает атмосферой средней мощности, значительная часть земной поверхности покрыта тонким неоднородным слоем воды, а вокруг нее обращается величественный спутник, диаметр которого равен четверти земного диаметра. Однако этих аргументов вряд ли достаточно для того, чтобы поддерживать наше космическое самомнение. Крошечная по астрономическим масштабам Земля — это наша родная планета, и поэтому она заслуживает самого тщательного изучения (рис. 10.3).

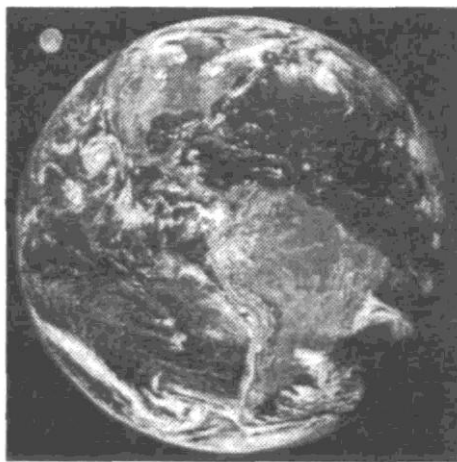


Рис. 10.3. Планета Земля со спутником Луной

По форме Земля близка к двuosному эллипсоиду. На XVI съезде Международного астрономического союза, состоявшемся в Гренобле (Франция) в августе 1976 г., приняты следующие элементы земного сфероида: экваториальный (наибольший) радиус $R_э = 6378,140$ км, полярный (наименьший) радиус $R_п = 6356,755$ км, $R_э - R_п = 21,385$ км, сжатие

$\epsilon = \frac{R_э - R_п}{R_э} = \frac{1}{298,257}$. Сфероид Земли близок к геоиду — поверхности океанов, продолженной под материками, в каждой точке которой перпендикуляр совпадает с направлением силы тяжести. За средний радиус Земли принимают $R_{ср} = 6371$ км, который соответствует радиусу шара по объему, равному объему эллипсоида Земли.

Относительно геоида производятся измерения высот на суше и глубин в океане. Наибольшую высоту над поверхностью мирового океана — 8848 км — имеет вершина Джомолунгма (Эверест), находящаяся в Гималаях (Евразия), а наибольшую глубину — 11 022 м — имеет Марианский желоб в Тихом океане.

Земля участвует в двух движениях, происходящих с запада на восток: она вращается вокруг собственной оси и обращается вокруг Солнца. Положение точки или тела на земной поверхности определяют с помощью географической сетки. Географическую сетку образуют полюса, параллели и меридианы. Точки пересечения оси вращения Земли с ее поверхностью называются географическими полюсами. Имеются северный и южный географические полюса. Большой круг земной поверхности, образованный пересечением плоскости, проходящей через центр Земли перпендикулярно оси ее вращения, называется экватором. Он делит земной шар на Северное и Южное полушария. Линии сечения поверхности Земли плоскостями, параллельными плоскости экватора, называются параллелями, а линии сечения, образованные плоскостями, проходящими через ось вращения Земли, называются меридианами. Для определения положения точки на земной поверхности используют две географические координаты — широту и долготу. Географическая широта (φ) —

это угол между плоскостью экватора и отвесной линией в точке, положение которой определяется. Широты отсчитываются в пределах от нуля (на экваторе) до 90° (на полюсах) в сторону Северного и Южного полюсов и называются соответственно Северной и Южной широтой. Географическая долгота (λ) — это угол между нулевым (Гринвичским) меридианом и плоскостью меридиана, проходящего через точку, положение которой определяется. Долгота отсчитывается в пределах от нуля (на Гринвичском меридиане) до 180° на восток или на запад. Соответственно этому различают восточную или западную долготу. Орбита обращения Земли вокруг Солнца близка к окружности и представляет собой эллипс с малым эксцентриситетом ($e = 0,017$). Солнце находится не в центре орбиты, а в одном из фокусов эллипса. Поэтому на протяжении года расстояние от Солнца до Земли периодически меняется: от 147,1 млн км (3 января) до 152,1 млн км (4 июля). Большая полуось земной орбиты определяет среднее расстояние Земли от Солнца и равно 149,6 млн км. Фокус орбиты отстоит от центра эллипса на 2,5 млн км. Самая близкая к Солнцу точка земной орбиты называется перигелием, а самая далекая — афелием или апогелием.

Перпендикулярная к солнечным лучам поверхность Земли на среднем расстоянии от Земли до Солнца за последние 3 млрд лет получала одинаковое количество солнечной энергии. Поэтому ее называют Солнечной постоянной, и она равна $E_0 = 1360 \text{ Вт/м}^2$. Однако в данную точку земной поверхности количество поступающей солнечной энергии в течение года изменяется. Поэтому на Земле происходит смена времен года. Это изменение количества энергии происходит по двум причинам. Из-за изменения расстояния от Земли до Солнца в перигелии (3 января) количество энергии, поступающее на Землю, на 7% больше, чем в афелии (4 июля). Более существенно изменяется солнечная энергия, поступающая на данную поверхность Земли, из-за изменения наклона падения солнечных лучей. Это происходит в течение года вследствие обращения Земли вокруг Солнца, наклона земной оси к плоскости орбиты под углом $66^\circ 33'$ и сохранения этого наклона при обращении вокруг Солнца. Например, в Москве

в 4,6 раза больше солнечной энергии в день летнего солнцестояния 22 июня, чем в день зимнего солнцестояния 22 декабря. Количество падающей солнечной энергии зависит от географической широты и полуденной высоты Солнца над горизонтом.

В соответствии с видимым движением Солнца земная поверхность разделена на тепловые (климатические) пояса. Области земной поверхности, отстоящие от полюсов на $23^{\circ}27'$, называются полярными кругами, или северным и южным холодным поясами. На границах полярных кругов один раз в году наблюдается полярный день и полярная ночь. Пояс земной поверхности, ограниченный по обе стороны от экватора географическими параллелями $23^{\circ}27'$ (северным и южным тропиками), называется жарким или тропическим поясом. В этом поясе два раза в год Солнце в полдень проходит через самый зенит, и его лучи падают на земную поверхность отвесно. На самих тропиках Солнце проходит через зенит только один раз в год — 22 июня на северном тропике и 22 декабря — на южном тропике. Между полярными кругами и тропиками лежат умеренные пояса; в них никогда не бывает полярных дней и ночей, и Солнце никогда не проходит через зенит.

Данные геофизики, геохимии, геологии, физической географии и других наук привели к выводу о том, что земной шар в своем строении состоит из ряда концентрических оболочек, или геосфер. Геосферы одна от другой отличаются по химическому составу и агрегатному состоянию вещества, что определяется их термодинамическими условиями существования. В направлении от центра земного шара к космическому пространству выделяются следующие геосферы: **литосфера, биосфера, гидросфера, атмосфера, магнитосфера**. Литосфера и атмосфера, в свою очередь разделяются на ряд сферических слоев, не одинаковых по своим физическим свойствам. Приведем краткие данные о каждой сфере.

Литосфера, т. е. твердая сфера Земли, изучена методами анализа распространения сейсмических волн. Эти исследования показали, что плотность земных пород, увеличивающаяся к центру Земли, в некоторых местах дает скачкообразный рост.

По этим изменениям строение Земли разделяют на **ядро, мантию и кору**. Причем внешнее ядро находится в расплавленном состоянии, внутри которого имеется твердое ядро. Вещество внешнего ядра имеет свойства тягучей жидкости и обладает электропроводностью. Температура внутри Земли повышается с градиентом 2° на 100 м глубины. Причиной разогрева земного грунта является радиоактивный распад элементов в мантии. Сейчас считают, что кора вместе с гидросферой и атмосферой образовалась в результате вулканической деятельности — выбросы лавы, пара и газов из внутренних частей мантии. Вулканическая деятельность также привела к образованию гор. Возраст земной коры оценивается примерно в 3,8 млрд лет. В верхней части она образована осадочными, т. е. вторичными породами, кое-где с участием молодых вулканогенных пород. В океанических впадинах под осадочными имеется базальтовый слой. У материков между осадочной толщей и базальтовым слоем залегает еще гранитный слой. Пересекая поверхность Мохоровичича, продольные сейсмические волны изменяют свою скорость скачкообразно: с 7,1 км/с на 8,1 км/с.

Мощнейшие толщи вторичных пород (в том числе и преобразованных в граниты) земной коры — ярчайший показатель необычно высокой активности действующих на Земле экзогенных процессов по сравнению с процессами на других планетах. Природа щедро раздала свои материальные ресурсы нашей планете. Но если сравнить их с наиболее часто употребляемыми материалами, то нетрудно заметить между ними некую обратно пропорциональную зависимость: чаще всего человек использует те вещества, запасы сырья которых ограничены, и, наоборот, крайне слабо использует такие химические элементы и их соединения, сырьевые ресурсы которых почти безграничны. В самом деле, 98,6% массы физически доступного слоя Земли составляют всего восемь химических элементов. Картина их распределения представлена на рис. 10.4.

В морфоструктурном отношении Земля резко отличается от других планет, в частности, широким распространением линейных форм, которых там или вообще нет, кроме тектонических

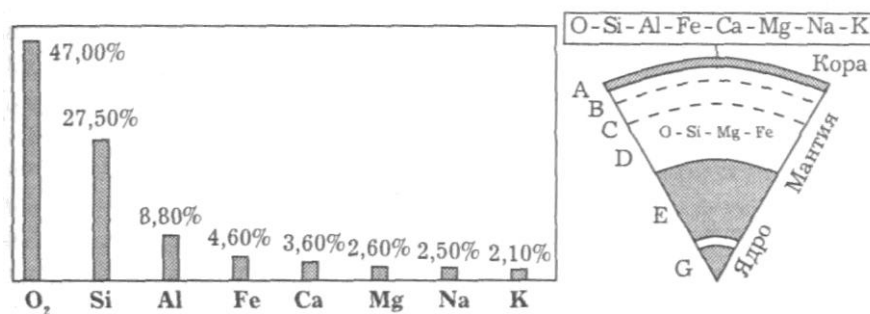


Рис. 10.4. Природное распределение элементов Земли

разломов, или они единичны и слабо выражены. Для человечества недра Земли являются кладовой полезных ископаемых. Их добыча из года в год растет, и в настоящее время человечество ежегодно извлекает из недр Земли более 1 млрд т железной руды, более 3 млрд т нефти, более 2,5 млрд т угля, миллиарды тонн строительных и других материалов.

Процесс формирования полезных ископаемых связан с эволюцией Земли. Одна из современных теорий, объясняющих динамику процессов в земной коре, называется теорией неомобилизма. Дрейф крупных плит литосферы с возвышающейся на них сушей называется неомобилизмом. Теория неомобилизма сегодня является основой всех наук о Земле. Она, в частности, вносит весомый вклад в описание таких процессов, происходящих в земной коре, как извержения вулканов и землетрясения.

Атмосфера Земли представляет собой газовое образование, которое окутывает нашу планету сплошной оболочкой. Верхняя граница атмосферы лежит на высоте нечетко, так как с высотой газы разреживаются и переходят в мировое пространство постепенно.

Атмосфера сохраняет тепло солнечных лучей, защищает живое от губительного воздействия далеких ультрафиолетовых солнечных излучений и космических лучей. Без атмосферы на Земле был бы резкий температурный контраст между освещенной и неосвещенной солнечным излучением сторонами планеты.

Атмосфера Земли образована смесью газов, влаги и частиц пыли. Сухой воздух вблизи поверхности Земли содержит 78,09% азота, 20,95% кислорода, 0,93% аргона, 0,03% углекислого газа. На долю всех остальных газов, вместе взятых, приходится 0,01%. Состав атмосферы до высоты 100 км существенно не изменяется, а выше кислород, а затем и азот находятся в атомарном состоянии. Влага попадает в атмосферу вследствие испарений с поверхности Земли. Около 90% ее сосредоточено в нижнем пятикилометровом слое. Половина массы атмосферы находится до высоты 5-6 км, а 90% — до 16 км.

С высотой изменяется не только сама атмосфера (давление, плотность и температура воздуха), но и электрическое состояние атмосферы, а на больших высотах еще и состав. Поэтому в атмосфере выделяют несколько сфер с различными свойствами. К ним относятся: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера (или ионосфера), экзосфера. Тропосфера простирается от поверхности Земли до высоты 8-12 км. В тропосфере находится почти весь водяной пар. Здесь формируется погода. Характерная особенность тропосферы — понижение температуры в среднем на 6 °С на каждый километр высоты. Над тропосферой находится стратосфера. Ее верхняя граница расположена на высоте 50-55 км. Стратосфера характеризуется возрастанием температуры с высотой. Стратосфера отличается от тропосферы малой турбулентностью воздушных масс, ничтожным содержанием водяного пара, повышенным содержанием озона. На высотах 20-25 км концентрация озона наиболее высокая, и этот тонкий слой называют озоносферой. Выше стратосферы до высот порядка 80 км находится мезосфера. В ней температура с высотой падает и у верхней границы составляет -80 °С. Между высотами 80 км и 800 км располагается термосфера. В термосфере температура растет до 2000 °С из-за влияния радиации Солнца. Учитывая способность газов термосферы ионизировать, ее называют также ионосферой. Экзосфера — самая верхняя, сильно разреженная часть атмосферы с температурой 2000 °С.

Гидросфера, или водная оболочка Земли, не является сплошной и занимает 70,8% земной поверхности. Гидросфера

влияет на климат, создавая значительный парниковый эффект, сглаживает температурные контрасты различных участков земной поверхности за счет большой теплоемкости и переноса тепла из экваториальной области в умеренные и полярные широты. К гидросфере относятся Мировой океан и воды суши: реки, озера, подземные воды, ледники. Все они связаны между собой в планетарном процессе круговорота воды, газов и минеральных солей. Самое большое скопление воды на поверхности Земли составляет Мировой океан, который делится на Тихий, Атлантический, Индийский, и Северный Ледовитый. Интенсивное перемещение океанических вод происходит как за счет мощных течений, так и вследствие приливов и отливов. Поверхность океанов и морей постоянно покрыта волнами. Различают волны ветровые, цунами и барические. Первые из них возникают при ветре. Особенно большие волны вызывают штормы и ураганы. Волны цунами образуются при извержениях подводных вулканов и при подводных землетрясениях. Барические волны возникают при прохождении циклона. Значит, Мировой океан является самым большим скоплением воды на Земле, основным водохранилищем и колыбелью жизни нашей планеты, играет роль гигантского геохимического реактора и аккумулятора тепловой энергии.

В гидросферу Земли входят также реки и озера. Различают четыре вида питания рек: дождевое, снеговое, ледниковое, подземное. Озера занимают 2% поверхности суши. В целом гидросфера Земли представляет собой уникальное образование. Ничего подобного пока что не обнаружено ни на какой другой планете. Именно благодаря гидросфере на Земле присутствует живое вещество, и вполне возможно, что именно наличие гидросферы является основной причиной его возникновения.

Биосфера является одной из оболочек Земли, свойства которой обусловили появление, существование и развитие в ее пределах органической жизни. В биосферу включают нижнюю часть атмосферы (тропосферу), гидросферу и верхнюю часть литосферы. Таким образом, верхняя граница биосферы поднимается до высоты 33 км, где встречены бактерии, а нижняя

граница находится в литосфере на глубине 11 км, где обнаружены микроорганизмы в водах нефтяных месторождений. С жизнедеятельностью организмов связаны процессы газообмена, круговорот кислорода, углекислого газа, углекислоты и воды, а также малый биологический круговорот биогенных химических элементов. Кроме того, организмы принимают значительное участие в формировании геологических напластований в земной коре (ископаемые угли, ракушечные известняки и др.); изменяют рельеф поверхности Земли и играют первостепенную роль в развитии почв.

Магнитосфера обусловлена наличием вокруг нее магнитного поля. Земля обладает относительно большим магнитным полем. Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими, а магнитная ось Земли наклонена относительно оси вращения под углом около $11,5^\circ$. Причиной несоответствия современного геомагнитного поля древним полям (палеомагнетизм) являются горизонтальные перемещения отдельных частей земной коры. Магнитное поле Земли удерживает огромное число энергичных частиц, как электронов, так и протонов, образуя вокруг Земли ее магнитосферу. Частицы заполняются как огромные кольца или пояса, охватывающие Землю вокруг геомагнитного экватора.

Для людей важным процессом на Земле является погода. **Погода** определяется явлениями, происходящими в атмосфере при ее взаимодействии с земной поверхностью, Мировым океаном и Вселенной. Совокупность и последовательная смена всех возможных в данной местности условий погоды за многолетний промежуток времени называется **климатом**. Различают климат материка, какой-то его части, зоны, района, города. Погода и климат воздействуют на живое, существенно влияют на деятельность людей. Наука о земной атмосфере и происходящих в ней процессах называется **метеорологией**. Метеорологи разрабатывают и совершенствуют методы прогноза погоды, ищут способы изменения погоды и климата в необходимом для людей направлении.

Прежде всего климат любой части земного шара зависит от географической широты. Имеется зональность и высотная

поясность растительности, связанная с изменением количества приходящего на Землю тепла. Основными причинами зональности природы Земли являются ее шарообразность, суточное вращение и годовое обращение Земли вокруг Солнца. Количество поступающей солнечной энергии убывает от экватора к полюсам в зависимости от угла падения солнечных лучей и длины их пути через атмосферу. Это и является причиной географической зональности.

Поверхность Земли обладает различной отражающей способностью солнечных лучей (величиной альбедо). Больше всего солнечных лучей (от 80 до 97%) поглощает гидросфера. Поэтому Мировой океан является накопителем и главным источником тепла на Земле. Однообразием свойств водной поверхности объясняется равномерность и малая величина колебаний температуры над океанами. В отличие от водной, свойства поверхности суши разнообразны и ее участки поглощают разное количество солнечной энергии. Основной причиной движения воздуха на земном шаре, т. е. причиной возникновения ветров, является неравномерное распределение на поверхности Земли лучистой энергии Солнца.

К метеорологическим элементам, определяющим погоду, относятся: солнечная радиация, температура воздуха и почвы, влажность воздуха, атмосферное давление, ветер, облачность, осадки, снежный покров, видимость, метель, туманы и т. д.

При сближении теплого и холодного потоков воздуха горизонтальные перепады температуры, влажности и давления увеличиваются, а скорость ветра возрастает. Зоны, в которых холодные и теплые воздушные массы сближаются, называют переходными, или фронтальными. На этих фронтах из-за разности температур и давлений возникают обширные вихри, называемые циклонами и антициклонами. Как и на всякое движение относительно Земли, на направление и силу ветра существенное влияние оказывает вращение Земли (силы Кориолиса). Развиваясь, эти вихри охватывают всю тропосферу, достигая десятков тысяч километров в диаметре. Обычно с циклонами связана облачная с осадками погода, с антициклонами — ясная и малооблачная.

В циклоне преобладают восходящие движения воздуха, которые способствуют конденсации влаги, в антициклоне — нисходящие, при которых степень насыщения влагой уменьшается.

На низких географических широтах преобладают ветры, называемые пассатами и муссонами. Пассаты — это ветры, возникающие из-за различия атмосферного давления в экваториальной зоне. В Северном полушарии они имеют северо-восточное направление, в Южном — юго-восточное. Муссоны — это сезонные ветры, возникающие из-за разности температур воздуха над материками и океанами. Зимой они дуют с холодных материков к теплым океанам, летом — со сравнительно холодных океанов на нагретые материки.

В последнее столетие наблюдается глобальное потепление климата Земли. Причиной считается увеличение содержания в атмосфере углекислого газа, что является результатом хозяйственной деятельности людей.

Большинство обитателей Земли принимают свою планету такой, какая она есть. Конечно, люди ворчат на плохую погоду, жалуются на плохие урожаи или стихийные бедствия, но обычно не проводят критического анализа. Когда-то такое отношение было оправданно. Ведь у человека не было выбора — родившись на Земле, он должен был принимать ее гостеприимство. Теперь, в эпоху освоения космического пространства, уместно спросить: не стоит ли переселиться на другую планету или обосноваться в космическом корабле? Окинем же нашу родную планету критическим взглядом. Посмотрим, в какой степени безопасны мы на Земле, какие опасности таятся в космосе и какие уникальные условия необходимы для поддержания хрупкого творения, которое мы называем жизнью.

Среди планет земной группы Земля достигла высокой степени эволюции благодаря исключительному динамизму развития, широкому диапазону интенсивных природных процессов. Коренные изменения планеты произошли в ее внешней области — в строении коры, устройстве поверхности, составе атмосферы и климатической обстановке. По сравнению с другими планетами Земля обладает наибольшей плотностью,

а следовательно, и большим количеством радиогенной и гравитационной энергии, что обеспечивает ей чрезвычайно активную внутреннюю жизнь.

Разрез земного шара показан на рис. 10.5.



Рис. 10.5. Разрез земного шара.

А — земная кора; В, С, D — верхняя, средняя и нижняя мантии;
Е, F — внешнее и внутреннее ядра

Сейсмическое зондирование земных недр установило факты их дифференциации на концентрические сферы. Это установлено из анализа изменения скорости прохождения сейсмических волн — продольных (Р) и поперечных (S). В твердом веществе земных недр плотность с глубиной возрастает и соответственно увеличивается скорость прохождения сейсмических волн. Через жидкую среду (внешнее ядро) поперечные волны не проходят, а скорость продольных снижается.

Сила притяжения Земли оказалась достаточной для удержания выделявшихся из ее недр газов и паров воды, из которых сформировались плотная атмосфера и мощная гидросфера.

Земная поверхность как бы надежно защитилась от воздействия космоса (сильного охлаждения, проникновения губительной для всего живого коротковолновой радиации Солнца и космических лучей), а также и от метеоритной бомбардировки. Атмосфера обладает еще одним важным свойством — парниковым эффектом. Благодаря ему средняя температура земной поверхности поднялась на 38 °С, т. е. вместо равновесной температуры земной поверхности в -23 °С ее действительная температура составляет в настоящее время +15 °С.

Гидросфера, благодаря высокой теплоемкости и низкой теплоотдаче, сильно смягчает температурную контрастность земной поверхности. Этому способствует и облачный покров, распространенный приблизительно на 50% поверхности земного шара.

На Земле мало мест, где максимальные годовые амплитуды температур превышали 100 °С (Центральная Якутия). Колебания остальных мест крайне малы — на экваторе не более 10 °С, в среднем максимальные колебания можно считать +50 °С до -50 °С. Для функционирования природной среды важно, что в этом температурном интервале гидросфера может находиться во всех трех фазах: жидкой, твердой, газообразной. Воды на Земле так много (причем 95% ее находится в жидкой фазе), что если бы ее равномерно распределить по поверхности, то образовался бы слой толщиной в 2,7 км, т. е. Землю можно считать океанической планетой. В самом деле, 71% поверхности Земли приходится на океаны и моря, и только 29% площади, т. е. в ~ 2,5 раза меньше, занимает суша.

На Земле **экзогенные процессы** (перемещения и преобразования вещества под влиянием солнечной энергии) протекают в бурном темпе, что оказывает существенное воздействие даже на общую эволюцию планеты, а тем более на ее внешнюю область. Экзогенный фактор на Земле может при соответствующих условиях не только свести на нет морфологический эффект действия **эндогенного фактора** (перемещения и преобразования под воздействием внутренней энергии), но и полностью нейтрали-

зывать фундаментальный **космический фактор** — метеоритную бомбардировку.

10.3. Состав и строение Солнечной системы

*Приход наш и уход загадочны, —
их цели все мудрецы Земли
осмыслить не сумели.
Где круга этого начало, где конец,
откуда мы пришли, куда уйдем
отселе?*

Омар Хайям

Солнечная система представляет собой комплекс небесных тел, объединенных не только упорядоченностью движения, но и общностью физических свойств. В центре Солнечной системы находится наша дневная звезда — Солнце. Вокруг него вместе со своими спутниками обращаются 9 больших планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон.

Их физические характеристики приведены в табл. 10.1 и 10.2.

Меркурий — ближайшая к Солнцу планета и наименьшая из планет земной группы. Ее диаметр составляет 0,383 диаметра Земли, а масса 0,056 земной массы. Период вращения Меркурия вокруг оси равен 58,65 земных суток. Это близко к 2/3 периода обращения планеты вокруг Солнца (88 земных суток). Значит, одни сутки на Меркурии делятся два меркурианских года. К Земле Меркурий обращен всегда одним и тем же полушарием. По внешнему виду Меркурий напоминает Луну с множеством ее кратеров, гор и морей. На Меркурии имеются следы сильно разреженной атмосферы, в состав которой входят водород, гелий, кислород, а также аргон и неон. Температура поверхности планеты колеблется от -180 °С до +430 °С. У планеты слабое магнитное поле. Спутников Меркурий не имеет.

Венера — вторая по расстоянию от Солнца и ближайшая к Земле планета Солнечной системы. Видна как "вечерняя звезда"

Таблица 10.1

Физические характеристики планет Солнечной системы

Планета	Масса, кг	Средняя плотность, г/см ³	Температура поверхности, К	Сила тяжести на поверхности, (зем. = 1)	Экваториальный диаметр, км
Меркурий	$3.15 \cdot 10^{23}$	5,44	100	0,38	4880
Венера	$4.89 \cdot 10^{24}$	5,16	743	0,91	12 104
Земля	$5.98 \cdot 10^{24}$	5,52	290	1,00	12 756
Марс	$6.42 \cdot 10^{23}$	3,94	250-320	0,38	6776
Юпитер	$1.89 \cdot 10^{27}$	1,88	173 (макс)	2,34	140 140
Сатурн	$5.68 \cdot 10^{26}$	0,71	127	0,93	115 600
Уран	$8.68 \cdot 10^{25}$	1,47	90 (макс)	0,85	49 400
Нептун	$1.03 \cdot 10^{25}$	1,70	72 (макс)	1,14	49 008
Плутон	$1.40 \cdot 10^{24}$	1,30	63 (макс)	0,04	2300

Таблица 10.2

Динамические характеристики планет Солнечной системы

Планета	Среднее расстояние от Солнца, млн км	Период обращения вокруг Солнца, годы (сут.)	Средняя скорость орбитального движения, км/с	Период вращения вокруг оси (сутки и часы)
Меркурий	57,91	0,24 (88)	47,87	58,6 сут.
Венера	108,21	0,62 (224,7)	35,00	243,16 сут.
Земля	149,60	1,00 (365,24)	29,79	23 ч. 56 мин. 4с
Марс	227,94	1,88 (687,0)	24,13	24 ч. 37 мин. 23 с
Юпитер	777,80	11,86	13,05	9 ч. 50 мин. 30 с
Сатурн	1427,00	29,46	9,65	10 ч. 14 мин.
Уран	2869,00	84,02	6,80	10 ч. 48 мин.
Нептун	4496,00	164,80	5,43	15 ч. 48 мин.
Плутон	5947,00	247,70	4,74	6,39 сут.

в западной стороне неба сразу после захода Солнца или как "утренняя звезда" — в восточной стороне неба незадолго до восхода Солнца. Венера — самое яркое светило на небе после Солнца и Луны. Венера вращается вокруг оси не с запада на восток, как

Земля, а в обратном направлении — с востока на запад. Венера окутана плотной атмосферой, почти целиком состоящая из углекислого газа (97%) с примесью азота, кислорода и водяных паров. Атмосферное давление — свыше 90 атм. Температура вблизи поверхности планеты достигает +470 °С. Поверхность планеты сухая и каменистая. На ней замечены обширные равнины, но есть и горы. Их наибольшая высота достигает 12 км. По-видимому, там много и вулканов. Естественных спутников у Венеры нет.

Марс — четвертая от Солнца планета Солнечной системы. На звездном небе он выглядит как немерцающая точка красного цвета. Марс вдвое меньше Земли по диаметру и в девять раз — по массе. Период вращения планеты вокруг оси 24 ч. 37 мин. 23 с. Наклон оси вращения Марса к плоскости орбиты почти такой же, как и у Земли (около 25°), поэтому на Марсе есть смена времени года, похожая на земную, хотя продолжительность марсианского года близка к 687 земным суткам. Атмосфера Марса сильно разрежена и состоит в основном из углекислого газа с примесью азота, аргона, кислорода и водяных паров. Атмосферное давление у поверхности планеты в 160 раз меньше, чем на уровне моря на Земле. В атмосфере Марса часто возникают ветры и даже ураганы, вызывающие пылевые бури. Среднегодовая температура планеты -70 °С. При этих условиях жидкой воды на Марсе быть не может, и она существует только в виде пара, снега или льда. Марс обладает магнитным полем в 500 раз более слабым, чем магнитное поле Земли. На снимках, сделанных во время полетов автоматических межпланетных станций, поверхность планеты выглядит как красная, безводная, усеянная камнями пустыня с изрезанным рельефом. На Марсе есть кратеры, имеются горы, некоторые из них являются потухшими вулканами. Самая крупная во всей Солнечной системе вулканическая гора Олимп возвышается более чем на 20 км над поверхностью планеты. Марс имеет два естественных спутника — Фобос и Деймос.

Юпитер — самая крупная планета Солнечной системы и пятая по расстоянию от Солнца. Свое название она получила в честь римского бога неба, громовержца Юпитера. Масса планеты почти в 2,5 раза превышает суммарную массу остальных планет

и в 318 раз массу Земли. Диаметр Юпитера больше диаметра Земли в 11,2 раза. Юпитер отстоит от Солнца в 5,2 раза дальше, чем Земля, и затрачивает на один оборот по орбите почти 12 лет. Вокруг своей оси Юпитер вращается быстрее любой другой планеты Солнечной системы. В телескоп планета видна сжатой у полюсов с заметным рядом светлых и темных полос, которые каждый год располагаются по-разному. Юпитер окружен толстой водородно-гелиевой атмосферой, в верхних слоях которой температура около -160°C . Особенность этой планеты в наличии знаменитого Большого Красного пятна — огромного газового образования овальной формы и розового цвета, по размерам превышающего размеры земного шара. Предположительно, оно представляет собой грандиозный вращающийся вихрь. Юпитер обладает мощным магнитным полем, а также является источником довольно сильного радиоизлучения. Вокруг Юпитера вращаются 16 спутников, четыре наиболее крупные из которых были открыты в 1610 г. Галилеем. Кроме спутников Юпитер окружен кольцом из мелких камней и пыли. Оно всегда обращено к Земле ребром, поэтому с Земли не видно.

Сатурн — вторая по величине планета Солнечной системы. Имея массу, равную примерно 95 земным массам, и объем более 758 земных объемов, обладает самой низкой средней плотностью по сравнению с другими планетами. В атмосфере Сатурна присутствуют водород, метан и другие газы. Вблизи верхней границы облаков температура около -170°C . Планета обладает магнитным полем и является источником радиоизлучения. Сатурн имеет 17 спутников, самый крупный из них — Титан. Одно из хорошо известных и интересных небесных образований — кольца Сатурна.

Уран — седьмая по порядку от Солнца планета Солнечной системы. Это первая из планет, открытая с помощью телескопа. Уран относится к числу планет-гигантов. По диаметру он почти в 4 раза, а по массе — приблизительно в 14,6 раза больше Земли. Расстояние от Урана до Солнца почти в 20 раз больше, чем от Земли до Солнца, и он совершает полный оборот вокруг нашего светила за 84 года. Уран, подобно Венере, вращается вокруг своей

оси в направлении с востока на запад (а не с запада на восток, как Земля и другие планеты). Уран сильно сжат у полюсов. Его атмосфера состоит наполовину из водорода. Кроме того, в ней присутствуют метан, аммиак и гелий. Температура на поверхности облачного слоя планеты — около -215°C . Уран имеет девять узких непрозрачных газопылевых колец и 16 спутников.

Нептун — восьмая по расстоянию от Солнца большая планета Солнечной системы. Диаметр Нептуна равен 3,81 диаметра Земли, а масса — 17,2 земных масс. Планета сильно сжата и быстро вращается вокруг своей оси. Она состоит, по-видимому, из замороженной воды и других распространенных в космосе водородных соединений. 20% массы приходится на соединения кремния и металлов. Планета получает от Солнца в 900 раз меньше тепла, чем Земля. Температура на поверхности Нептуна -200 – 220°C . Планета окутана плотной водородно-гелиевой атмосферой с примесью метана и аммиака. Нептун имеет 8 спутников и кольца такой же природы, как и у Юпитера.

Плутон — наименьшая среди известных нам планет Солнечной системы и наиболее далекая от Солнца. Плутон был открыт сравнительно недавно. Плутон находится в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля, и получает от него в 1600 раз меньше тепла и света, чем наша планета. Плутон — это холодный темный и безмолвный мир, поверхность которого покрыта метановым льдом. Температура планеты рекордно низка: -230°C . Период вращения Плутона равен 6,4 сут., а период обращения — почти 248 лет. В 1978 г. американский астроном Дж. Кристи открыл у Плутона один спутник, названный Хароном. Он удален от планеты на расстояние в 17 000 км.

Солнечная система обладает рядом важных особенностей. Перечислим основные из них.

1. Подавляющая часть полной массы Солнечной системы принадлежит Солнцу, т. е. центральному телу. На долю Солнца приходится 99,87% массы Солнечной системы, так что сила его притяжения почти полностью управляет движением планет, которые обращаются вокруг него по орбитам, близким к эллип-

сам. Поэтому Солнце находится почти точно в центре планетных орбит.

2. Орбиты всех планет и большинства астероидов близки к окружностям и лежат приблизительно в плоскости эклиптики, т. е. в плоскости земной орбиты. Наибольшим наклоном к эклиптике (земной орбите) и наибольшей вытянутостью обладают орбиты Плутона (17°) и Меркурия (7°).

3. По размерам, массе и общему строению большие планеты делятся на две группы: на планеты типа Земля (или планеты земной группы), расположенные внутри пояса астероидов, и планеты-гиганты (вне его). Плутон занимает особое положение, отличаясь от планет обеих групп.

Планеты типа Земля значительно меньше гигантов по массе и размерам. Они обладают большей средней плотностью вещества и сравнительно медленным вращением.

Планеты-гиганты в десятки и сотни раз массивнее планет земной группы. Они окружены сравнительно плотными протяженными атмосферами. В основном планеты-гиганты состоят из водорода и гелия; доля всех других элементов в них значительно меньше, чем у планет земной группы.

4. Все планеты обращаются вокруг Солнца в одну сторону, причем направление их осевого вращения, как правило, совпадает с направлением движения по орбите. Исключение составляют лишь Венера и Уран, которые вращаются в противоположную сторону, причем ось вращения Урана почти лежит в плоскости орбиты.

Перечисленные особенности связаны с теми условиями, в которых происходило формирование планет миллиарды лет тому назад.

Возраст Солнечной системы был определен на основании лабораторного изотопного анализа земных скальных пород, а также метеоритов и доставленных на Землю космическими аппаратами образцов лунного грунта. Оказалось, что наиболее старые из них имеют возраст около 4,5 млрд лет. Возраст Солнца, полученный на основе теории эволюции звезд, оценивается примерно в 5 млрд лет. Поэтому считается, что все планеты

сформировались приблизительно в одно время — 4,5-5 млрд лет тому назад.

Согласно существующим представлениям, вещество, из которого возникли планеты и их спутники, первоначально образовывало массивный диск из холодного газа и пыли, окружавший еще молодое Солнце. Планеты сформировались в результате роста сгущений, возникших под действием сил гравитации в этом вращавшемся диске. Поэтому и сейчас все они, сохраняя движение диска, обращаются вокруг Солнца в одну и ту же сторону. Плотность, температура и химический состав протопланетного вещества были весьма различными во внешних, далеких от Солнца, и внутренних, близких к нему, частях диска. Это привело к сильному различию двух групп планет — внутренних и внешних.

Две основные причины, определяющие важнейшие свойства каждой планеты, — это ее расстояние от Солнца и масса. Чем больше среднее расстояние планеты от Солнца, тем меньше энергии от него она получает. По этой причине температура планет быстро падает с увеличением расстояния от Солнца. Напомним, что, в отличие от далеких планет, планеты земной группы, расположенные ближе к Солнцу, содержат очень много тугоплавких элементов (кремний, железо и др.). По-видимому, это отражает особенности химического состава того протопланетного газопылевого диска, из вещества которого сформировались планеты: чем дальше от Солнца, тем больше легких газов содержалось в протопланетном диске. Причина этого в том, что на больших расстояниях от Солнца при более низких температурах молекулы легких газов могли замерзать на пылинки, в то время как вблизи Солнца легкие газы нагревались и покидали протопланетный диск.

Масса планеты определяет ее способность удерживать вокруг себя атмосферу. Газ всегда стремится к расширению, и газовые атмосферы удерживаются вокруг планет только благодаря гравитационному притяжению к ним. Но из атмосферы любой планеты непрерывно происходит утечка вещества в межпланетное пространство. Причина этого понятна: тепловое

движение молекул газа. Скорость каждой молекулы постоянно меняется из-за столкновений с другими молекулами. Если скорость случайно превысит вторую космическую, то такая молекула навсегда может покинуть разряженные внешние слои атмосферы планеты. Чем меньше масса планет, тем слабее ее гравитационное притяжение и тем быстрее она теряет свою атмосферу, поскольку наиболее "быстрым" молекулам легче покинуть ее. Из физики известно, что средняя скорость теплового движения молекул и атомов пропорциональна, $\bar{v} \sim \sqrt{T/m_0}$, где T — абсолютная температура газа, а m_0 — масса его молекул (или атомов). Поэтому при любой температуре быстрее всего покидают атмосферу молекулы легких газов, имеющие более высокую среднюю скорость. Следовательно, со временем масса атмосферы и ее химический состав должны меняться. В атмосферах планет земной группы осталось очень мало легких газов (водорода и гелия). Меркурий из-за небольшой массы и высокой температуры, обусловленной близостью к Солнцу, практически вовсе лишен атмосферы. Атмосфера Марса из-за слабости его гравитационного поля сильно разряжена, а Луна и спутники планет вообще не смогли удержать вблизи себя газовую оболочку. Исключение составляет массивный и холодный спутник Сатурна — Титан, имеющий атмосферу, содержащую много достаточно тяжелого газа — азота, и небольшой спутник Юпитера — Ио. Последний теряет атмосферу непрерывно, но она постоянно пополняется за счет извержения вулканов, которые вместе с выбросом лавы выделяют много газов. По-видимому, и у планет земной группы (в том числе и у Земли) вулканические извержения и выделения газов из недр сыграли решающую роль в образовании атмосфер, когда планеты были еще молодыми.

На твердой поверхности больших планет (особенно не обладающих атмосферой) и их спутников наблюдаются многочисленные кратеры — результат метеоритной бомбардировки. Она происходит и в наше время. Однако наиболее интенсивной она была миллиарды лет тому назад. Такие тела, как Луна, Меркурий, спутник Юпитера Каллисто и другие, где кратеров очень много и где они мало разрушались, сохранили большую часть

своей поверхности в том виде, какой она была миллиарды лет назад. На Венере, Марсе и на некоторых спутниках (частично и на Луне) происходил процесс постепенного исчезновения старых кратеров. Они могли заполняться лавой (на Луне), разрушаться под действием ветра (как, например, на Марсе) или воды (как на Земле). Поэтому изучение поверхностей различных планет и спутников дает возможность узнать о далекой их истории и путях эволюции.

Сильные магнитные поля обнаружены пока у трех планет: Земли, Юпитера и Сатурна. По-видимому, они связаны с существованием электрических токов в расплавленных недрах этих планет. Если планеты земной группы Меркурий, Венера, Земля и Марс имеют относительно большую плотность и состоят из тяжелых элементов, то планеты-гиганты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун имеют плотность чуть больше, чем у воды и состоят из легких элементов водорода и гелия. Они имеют мощные протяженные атмосферы, переходящие в жидкий слой поверхности. Например, Юпитер состоит в основном из водорода, 18% по массе приходится на гелий, имеется примесь аммиака NH_3 и метана CH_4 (болотного газа). Хотя планеты-гиганты холодны и безжизненны, благодаря огромным расстояниям между ними и большим массам они обладают многочисленными семействами спутников. Система Сатурна имеет даже более разительное сходство с Солнечной системой в целом не только потому, что у этой планеты 17 спутников (больше, чем число известных планет), но и потому, что она обладает также большими кольцами — миниатюрным "поясом астероидов". Кольца состоят из мелких частиц, покрытых льдом и обращающихся вокруг Сатурна в диске, относительная толщина которого по сравнению с его шириной меньше, чем у листа бумаги. Уран и Юпитер также имеют кольца, хотя они много слабее и поэтому их трудно наблюдать. Возможно, они есть и у Нептуна.

Помимо больших планет и их спутников, в состав Солнечной системы входят тысячи малых планет — астероидов, находящихся в основном между орбитами Марса и Юпитера, где они образуют так называемый пояс астероидов. Кроме того,

в межпланетном пространстве по очень вытянутым орбитам движутся твердые ледяные тела, окруженные газовой оболочкой, — кометы и множество камней и частиц самых различных размеров: метеоры и метеориты (рис. 10.6).

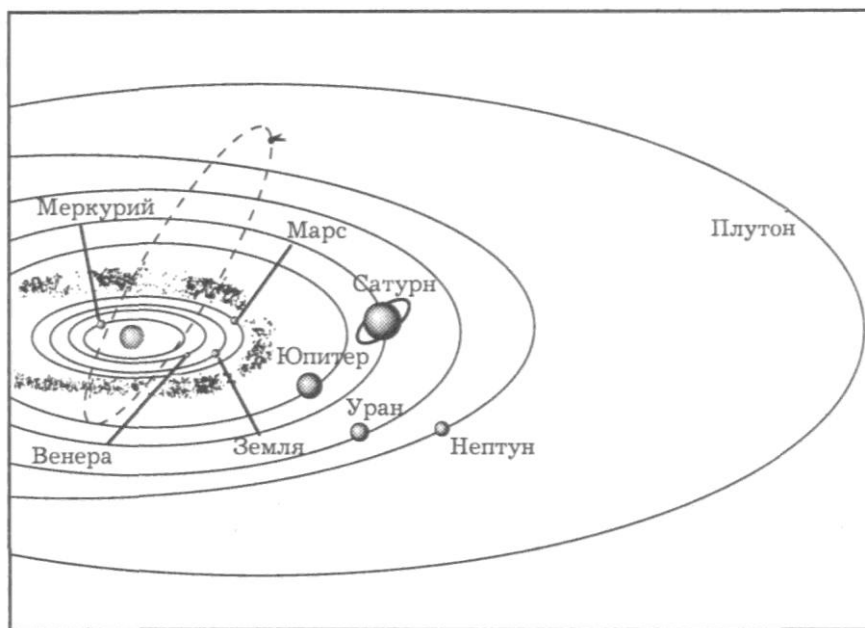


Рис. 10.6. Схема Солнечной системы

Астероиды. Большая часть астероидов (более пяти тысяч тел размером от одного километра до тысячи километров) движется между орбитами Марса и Юпитера. Орбиты их, как правило, не слишком сильно отличаются от окружностей. Периодические изменения яркости, наблюдаемые у некоторых астероидов, указывают на то, что они обладают неправильной формой, неровной поверхностью и вращаются вокруг своих осей. Поверхности астероидов, как и спутников планет, должны нести следы ударов более мелких тел. Атмосфер у астероидов нет.

Кометы — эти странные небесные скитальцы вызывали у людей суеверный страх чаще, чем любые другие небесные

тела. Большинство комет движется по чрезвычайно вытянутым орбитам и при каждом обороте приближаются к Солнцу лишь на непродолжительное время. В перигелии, при максимальном сближении с Солнцем, их блеск очень сильно возрастает. В это время они столь активны, что теряют заметную долю своего вещества и вокруг их ядра образуется протяженная атмосфера (кома) из газа и мелких пылевых частиц. Под давлением солнечного излучения и выброшенных Солнцем частиц кометный газ и пыль покидают голову кометы, порождая протяженный хвост, а то и несколько хвостов всегда сложной структуры. Вероятно, кометы внесли свой вклад в обогащение вещества Солнечной системы такими легкими летучими составляющими, как углерод и вода, без которых была бы невозможна жизнь на Земле.

10.4. Солнце, звезды и межзвездная среда

*К дальним звездам, в небесную
роздымь
улетали ракеты не раз.
Люди, люди — высокие звезды,
долететь бы мне только до вас.*

Р. Гамзатов

Солнце — это наша звезда. Изучая Солнце, мы узнаем о многих явлениях и процессах, происходящих на других звездах и недоступных непосредственному наблюдению из-за огромных расстояний, которые отделяют нас от звезд. Радиус Солнца в 109 раз, а объем в 1,3 млн раз, масса в 333 000 раз больше соответственно радиуса, объема и массы Земли.

Энергия, получаемая Землей от Солнца, характеризуется солнечной постоянной. Солнечной постоянной называется величина, определяемая полной энергией, которая падает в 1 с на площадку в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии Земли и Солнца. За последние 3 млрд лет она не изменилась и составляет 1360 Вт/м^2 . Значит, полная энергия, излучаемая Солнцем в единицу времени, постоянна. Эта энергия, называ-

емая светимостью (L_0) Солнца, т. е. мощность его излучения, составляет $L_0 = 4 \cdot 10^{26}$ Вт.

Существуют различные способы определения температуры Солнца, все они основаны на физических законах, открытых на Земле и действующих во всей доступной наблюдателям части Вселенной. Эти методы дают величину температуры поверхности Солнца 6000 К. При температуре 6000 К вещество находится на Солнце в газообразном состоянии, причем атомы некоторых химических элементов ионизированы. С глубиной температура растет, а вместе с тем увеличивается число ионизированных атомов. Поэтому основное состояние, в котором находится вещество на Солнце, — это плазма, а Солнце — это раскаленный плазменный шар.

Отождествление линий в спектре Солнца с линиями в спектрах химических элементов, изучаемых в лабораторных условиях, позволяет определить состав атмосферы Солнца. На Солнце обнаружено более 70 химических элементов. Никаких "неземных" элементов Солнце не содержит. Самые распространенные элементы на Солнце — водород (около 70% всей массы Солнца) и гелий (более 28%). Гелий ("солнечный газ") был впервые открыт на Солнце и только почти через 30 лет — на Земле.

Источником энергии Солнца является термоядерный синтез ядер водорода с образованием ядер гелия. Это происходит в ядре Солнца, составляющем четверть его радиуса. Температура в центре Солнца 14 млн К. Перенос энергии, выделяющей при ежесекундном сгорании в ядре Солнца 600 млн т водорода, происходит в зоне лучистого переноса энергии, а затем конвективной зоне. Солнце излучает электромагнитное излучение во всем диапазоне длин волн от γ -лучей до радиоволн, максимум видимого излучения которой находится на длине волны 5000Å . Видимое излучение Солнца образуется в самом нижнем слое атмосферы Солнца — фотосфере. Атмосфера состоит также из хромосферы и короны. Кроме излучения от Солнца распространяется поток частиц — протонов, нейтронов, электронов, называемых солнечным ветром. На расстоянии Земли их скорость составляет 400 км/с. Когда Солнце спокойное, солнечный ветер стабильный, но

во время солнечной активности их поток усиливается. Солнечная активность на Солнце проявляется в виде пятен, факелов, вспышек, протуберанцев и других явлений. Она проявляется периодически в среднем через 11 лет. Солнечная активность влияет на земные процессы.

Звезды — это массивные горячие газовые шары. В них сосредоточено более 95% всего вещества, наблюдаемого в природе. Изучая, как распределены в пространстве звезды и их скопления, ученые исследуют тем самым строение окружающего нас мира, структуру Вселенной. Звезды различаются большим разнообразием размеров, масс, светимостей, цветом, температурой. По массам есть звезды, превосходящие Солнце в 80 раз, но есть и составляющие 0,05 массы Солнца. По светимостям звезды имеют в **100 000** раз большую и столько же раз меньшую светимость. Диапазон поверхностных температур звезд охватывает от 3000 К до 50 000 К. Цвет звезды зависит от температуры. При **3000** К звезда красная, при 6000 К — желтая, при 10 000 белая, при больших — голубая. Время существования звезд зависит от массы. Массивные звезды существуют меньше, чем легкие. Диапазон времен существования звезд составляет от 100 млн до сотен миллиардов лет. В звездах произошло и происходит образование большинства химических элементов, из которых состоит вещество окружающего нас мира. Атомы любого вещества на Земле, включая и те, из которых состоим мы сами, когда-то, еще до того как возникла Солнечная система, родились или пребывали в недрах звезд.

Получение спектров звезд и их сравнение со спектрами лабораторных газовых источников сразу же позволили сделать вывод о том, что звезды состоят из известных на Земле химических элементов. В Солнце и звездах были найдены практически все элементы периодической системы элементов Менделеева, кроме неустойчивых изотопов и самых тяжелых атомов. У большинства звезд около 98% массы приходится на водород и гелий — самые легкие элементы, причем по массе водорода примерно в 2,5 раза больше, чем гелия. На долю всех остальных тяжелых элементов приходится менее 2% массы.

Хотя звезды состоят из знакомых нам химических элементов, звездный газ обладает двумя важными особенностями. Во-первых, если в обычных, "земных" условиях газ состоит из молекул, то в звездах из-за высокой температуры молекулы распадаются (диссоциируют) на отдельные атомы, так что звездный газ атомарный. Лишь во внешних слоях наиболее холодных звезд, где температура не превышает 4000 К, имеются наиболее устойчивые радикалы или молекулы, например CN, CH₃, OH, TiO. Во-вторых, основная масса звездного газа ионизирована. Это также вызвано высокой температурой газа.

Так как звезды заметно не меняют своих размеров, можно считать, что их вещество находится в равновесии: газовое давление внутри звезды само устанавливается как раз таким, чтобы удержать звезду от гравитационного сжатия. Это равновесие устойчиво, в противном случае ни звезд, ни Солнца в природе не существовало бы.

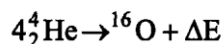
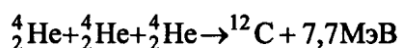
Температура и плотность газа внутри звезд быстро возрастает вглубь. Так, в центре Солнца температура составляет около 14 млн градусов, а плотность газа примерно в 150 раз больше, чем у воды. По существующим оценкам, большинство звезд может светить, не переставая, многие миллиарды лет. Наше Солнце излучает свет уже около 5 млрд лет. Это в несколько раз больше возраста самых древних ископаемых растений.

Откуда звезды черпают излучаемую ими энергию? Основным источником энергии звезд считается взаимодействие между атомными ядрами. Известно, что при термоядерных реакциях происходит слияние (синтез) легких ядер атомов с образованием более тяжелых ядер других атомов. В недрах звезд происходит взаимодействие между ядрами водорода — протонами. При температуре 10-30 млн градусов, существующей в центральных областях большинства звезд, средняя скорость движения протонов составляет несколько сотен километров в секунду. Наиболее энергичные протоны, сталкиваясь, взаимодействуют между собой довольно сложным образом. В результате этого взаимодействия четыре протона могут образовать одно ядро атома гелия. Такая реакция сопровождается выделением энергии. Это

поддерживает высокую температуру в недрах звезды. Получается, что звезды как бы "подогреваются" из центра. Реакцию превращения водорода в гелий можно представить так:



Так как масса четырех протонов больше массы ядра атома гелия, то этот избыток массы и уносится квантами излучения и нейтрино по соотношению Эйнштейна $E = mc^2 = h\nu$. Звезды типа Солнца каждую секунду теряют на излучение массу в миллионы тонн. При этом сотни миллионов тонн водорода каждую секунду превращаются в гелий. У звезд, температура которых в центре существенно выше, чем у Солнца, может происходить синтез более тяжелых элементов из гелия. Эти реакции также сопровождаются выделением энергии, способной поддерживать излучение звезд. Так, в красных гигантах и сверхгигантах, в недрах которых температура превышает сотни миллионов градусов, могут идти реакции слияния ядер гелия, приводящие к образованию ядер углерода и кислорода (из трех и четырех ядер гелия соответственно).



Большая часть углерода и кислорода, существующих в природе, возникла в недрах таких звезд. В звездах путем слияния атомных ядер возникают новые химические элементы, которых, таким образом, в природе становится все больше и больше. Химические элементы, составляющие нашу Землю и все, что на ней существует, в большинстве своем также сформировались в недрах звезд миллиарды лет назад, когда еще не существовало ни Земли, ни Солнца.

Согласно современным представлениям, звезды образуются путем конденсации весьма разреженной **межзвездной газопылевой среды**. Плотность межзвездной газовой среды ничтожна. Химический состав межзвездного газа довольно хорошо исследован. Он сходен с химическим составом наружных слоев

звезд. Преобладают атомы водорода и гелия, атомов металлов сравнительно немного. В довольно заметных количествах присутствуют простейшие молекулярные соединения (например, CO, CN). Возможно, что значительная часть межзвездного газа находится в форме молекулярного водорода. Кроме газа в состав межзвездной среды входит космическая пыль. Размеры таких пылинок составляют 10^{-4} - 10^{-5} см. Они являются причиной поглощения света в межзвездном пространстве. Космическая пыль, так же как и связанный с ней межзвездный газ, сильно концентрируется к галактической плоскости. Толщина газопылевого слоя составляет всего лишь около 250 пк. Межзвездный газ и пыль смешаны. Для этой среды характерно резко выраженное "клочковатое" распределение. Она существует в виде облаков (в которых плотность раз в 10 больше средней), разделенных областями, где плотность ничтожно мала. Эти газопылевые облака сосредоточены преимущественно в спиральных ветвях Галактики и участвуют в галактическом вращении. Наиболее плотные из таких облаков наблюдаются как темные или светлые туманности.

В отдельных областях межзвездного пространства газ находится преимущественно в молекулярном состоянии. За последние 30 лет, истекшие после открытия в межзвездной среде радиолинии OH и H₂O было открыто много других радиолиний межзвездного происхождения, принадлежащих различным молекулам. Полное число обнаруженных таким образом молекул уже превышает 50. Среди них особенно большое значение имеет молекула CO, радиолиния которой наблюдается почти во всех областях межзвездной среды. Довольно неожиданным было обнаружение в таких облаках радиолиний весьма сложных многоатомных молекул, например CH₃COH, CH₃CN и др. Это открытие, возможно, имеет отношение к проблеме происхождения жизни во Вселенной.

Сравнительно недавно астрономы получили ряд косвенных доказательств наличия межзвездных магнитных полей, связанных с облаками межзвездного газа и движущихся вместе с ними. Межзвездные магнитные поля играют решающую роль

при образовании плотных газопылевых облаков межзвездной среды, из которых конденсируются звезды. Масса межзвездного газа в нашей Галактике близка к миллиарду солнечных масс, что составляет немногим больше 1% от полной массы Галактики, обусловленной в основном звездами. В других звездных системах относительное содержание межзвездного газа меняется в довольно широких пределах. У эллиптических галактик оно очень мало, около 10^{-4} и даже меньше, в то время как у неправильных звездных систем (типа Магеллановых Облаков) содержание межзвездного газа доходит до 20 и даже 50%. Это обстоятельство тесно связано с вопросом об эволюции звездных систем.

10.5. Галактики

*Кругом тот мир, где я кажусь ничем;
во мне роятся мысли, все обнять
готовые...*

Байрон

Окружающие Солнце звезды и само Солнце составляют лишь ничтожно малую часть гигантского коллектива звезд и туманностей, которая называется **Галактикой**. Это скопление звезд мы видим в ясные безлунные ночи как пересекающую небо полосу Млечного Пути. Галактика имеет довольно сложную структуру. В первом, самом грубом приближении мы можем считать, что звезды и туманности, из которых она состоит; заполняют объем, имеющий форму сильно сжатого эллипсоида вращения. В действительности оказывается, что разные типы звезд совершенно по-разному концентрируются к центру Галактики и к ее "экваториальной плоскости". Основная часть звезд в Галактике находится в гигантском диске, диаметр которого около 100 тыс. световых лет, а толщина около 1600 световых лет. В этом диске насчитывается 200 млрд звезд самых различных типов.

Наша Галактика — это гигантский звездный остров, в состав которого входит Солнечная система. Галактика имеет спиральную структуру и состоит из ядра и нескольких спиральных ветвей. А такие галактики составляют около 50% всех звездных

систем. Диаметр звездного ядра Галактики составляет не менее 4000 световых лет, а его масса равна примерно 5% массы всей Галактики. В состав ядра Галактики входит много красных гигантов и короткопериодических цефеид — пульсирующих звезд. Они периодически расширяются и сжимаются. Сжатие наружных слоев вызывает их нагрев. Ядро Галактики не видно в обычных лучах из-за поглощения света пылевыми облаками, но его можно сфотографировать в инфракрасных лучах.

Наше Солнце — одна из этих звезд, находящаяся на периферии Галактики вблизи от ее экваториальной плоскости (точнее, "всего лишь" на расстоянии около 30 световых лет — величина достаточно малая по сравнению с толщиной звездного диска). Расстояние от Солнца до ядра Галактики (или ее центра) составляет около 30 тыс. световых лет и 22 000 световых лет от края Галактики. Звездная плотность в Галактике весьма неравномерна. Выше всего она в области галактического ядра, где, по последним данным, достигает 2 тыс. звезд на кубический парсек, что в 20 тыс. раз больше средней звездной плотности в окрестностях Солнца. Кроме того, звезды имеют тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. В Галактике имеются и структурные детали гораздо больших масштабов. Исследованиями последних лет доказано, что туманности, а также горячие массивные звезды распределены вдоль ветвей спирали. Особенно хорошо спиральная структура видна у других звездных систем — галактик. Звезды и туманности в пределах Галактики движутся довольно сложным образом. Прежде всего они участвуют во вращении Галактики вокруг оси, перпендикулярной к ее экваториальной плоскости. Это вращение не такое, как у твердого тела: различные участки Галактики имеют разные периоды вращения. Так, Солнце и окружающие его в огромной области размерами в несколько сотен световых лет звезды совершают полный оборот за время около 200 млн лет. Так как Солнце вместе с семьей планет существует, по-видимому, около 5 млрд лет, то за время своей эволюции (от рождения из газовой туманности до нынешнего состояния) оно совершило примерно 25 оборотов вокруг оси вращения Галактики. Скорость

движения Солнца и соседних с ним звезд по их почти круговым галактическим орбитам достигает 250 км/с. На это регулярное движение вокруг галактического ядра накладываются хаотические, беспорядочные движения звезд. Скорости таких движений значительно меньше — порядка 10-50 км/с, причем у объектов разных типов они различны. Меньше всего скорости у горячих массивных звезд (6-8 км/с), у звезд солнечного типа они около 20 км/с. Звезды почти никогда не сталкиваются друг с другом, хотя движение каждой из них определяется полем силы тяготения, создаваемым всеми звездами в Галактике.

Значительная роль в Галактике принадлежит темной диффузной материи. Плотность диффузных туманностей очень мала, в среднем 10^{-23} г/см³, или несколько атомов водорода на 1 см³. Газовые диффузные туманности образуют в галактической плоскости слой толщиной всего лишь около 1200 световых лет. Они принадлежат к населению, характерному для спиральных ветвей Галактики. Размеры туманностей огромны — от нескольких световых лет до сотни световых лет. Но ввиду огромной протяженности туманностей их масса весьма велика и составляет несколько сот миллионов солнечных масс. Возможно, часть диффузного вещества была выброшена горячими звездами в ходе их эволюции; происхождение же остального вещества еще неясно. Галактика включает в себя около 100 миллионов диффузных туманностей, состоящих из пыли и межзвездного газа. Общая масса Галактики составляет примерно около 120 миллиардов солнечных масс, или $2,5 \cdot 10^{44}$ г. Если говорить о массе видимого вещества нашей галактики, то примерно 95% его приходится на долю звезд, а около 5% — на межзвездный газ и пыль. Пространство Галактики пронизано потоками заряженных частиц огромных энергий, а на межзвездный газ действует магнитное поле.

Другие галактики. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики, каждая из которых, подобно нашей, состоит из многих миллиардов звезд. Таким образом, наблюдаемая нами

часть Вселенной, называемая Метагалактикой, представляет собой совокупность звездных систем — галактик, движущихся в огромном пространстве Космоса. Ближайшие к нашей звездной системе галактики — Магеллановы Облака, хорошо видные на небе Южного полушария как два больших пятна примерно такой же поверхностной яркости, как и Млечный Путь. Расстояние до Магеллановых Облаков "всего лишь" около 200 тыс. световых лет, что вполне сравнимо с общей протяженностью нашей Галактики. Другая "близкая" к нам галактика — это туманность в созвездии Андромеды. Она видна невооруженным глазом как слабое световое пятнышко. На самом деле это огромный звездный мир, по количеству звезд и полной массе раза в три превышающий нашу Галактику, которая, в свою очередь, является гигантом среди галактик. Многие из галактик удалены от нас на расстояния, которые свет проходит за миллиарды лет. Это означает, что этот свет был излучен такой удаленной галактикой еще задолго до архейского периода геологической истории Земли!

Мир галактик поражает своим разнообразием. Галактики резко отличаются размерами, числом входящих в них звезд, светимостью, внешним видом. По внешнему виду галактики условно разделены на три основных типа: эллиптические, спиральные и неправильной формы. Первоначальной стадией являются галактики неправильной формы. Из них возникают спиральные галактики, имеющие ясно выраженную форму вращения. И, наконец, третьей стадией являются эллиптические галактики, имеющие сфероидальную форму.

Неправильные галактики состоят из значительных масс газопылевой материи и из "молодых" звезд, излучающих большое количество энергии, где отсутствуют ядра. Подобные звезды, существующие и в нашей Галактике, относятся к так называемому "населению I", в отличие от "старых" звезд, которые составляют "население II". Представителей звезд "населения II" в неправильных галактиках не обнаружено. Два больших звездных облака, которые получили название Большое и Малое Магеллановы Облака, относятся к типу неправильных галактик. Они являются

спутниками нашей Галактики. Неправильные галактики значительно меньше спиральных и встречаются редко.

Спиральные галактики состоят как из звезд "населения I", так и из звезд "населения II". Здесь имеются четко выраженные сферические подсистемы, составляющие ядро, и плоские подсистемы, образующие спиральные ветви Галактики. Наша Галактика принадлежит к числу спиральных. Ветви спиральных галактик, как и у нашей Галактики, состоят из горячих звезд, цефеид, сверхгигантов, рассеянных звездных скоплений и газовых туманностей. Галактики излучают различные электромагнитные волны. Такие излучения исходят от нейтрального водорода, а также от ионизированного горячего водорода в светлых туманностях. Нейтрального водорода в них содержится около 10% от массы галактики.

В эллиптических туманностях преобладают звезды "населения II", образующие сферические подсистемы. Спиральные ветви здесь уже отсутствуют, и соответственно очень редко встречаются звезды "населения I". Эллиптические галактики можно рассматривать как системы, которые израсходовали основную массу диффузной материи благодаря образованию из нее звезд и находятся на завершающей стадии эволюции. Они вращаются крайне медленно и потому слабо сплюснуты в отличие от быстро вращающихся спиральных галактик. По виду эллиптические галактики похожи на шаровые звездные скопления. Они не содержат ни звезд-сверхгигантов, ни диффузных туманностей.

Итак, развитие галактик, по-видимому, начинается с огромного, медленно вращающегося протооблака газа и пыли, которое по мере сжатия начинает вращаться с увеличивающейся скоростью. В процессе сжатия происходит образование звезд различных масс и светимостей. Постепенно в неправильной галактике возникают ядро и звездные спиральные ветви, имеющие центральную переемычку из темного диффузного вещества. В начале ядро Галактики относительно невелико по своей массе, но с развитием системы оно увеличивается, так что постепенно спиральная галактика переходит в эллиптическую. В эллипти-

ческой галактике темное диффузное вещество присутствует уже в относительно небольшом количестве, так как оно уже пошло на образование звезд.

Галактики, подобно звездам, наблюдаются группами. Например, нашу Галактику, Магеллановы Облака и еще около 20 небольших спутников нашей Галактики можно рассматривать как кратную систему. Согласно современным представлениям, для Вселенной характерна ячеистая (иногда говорят, сетчатая или пористая) структура.

Самые далекие из наблюдаемых объектов находятся от нас на расстоянии около 10 миллиардов световых лет. До ближайших звезд нашей Галактики — несколько световых лет. Промежуточные расстояния можно описать следующим образом. Диаметр нашей Галактики — почти сто тысяч световых лет. Эта величина в несколько десятков тысяч раз превышает расстояние до ближайших звезд, наша Галактика не принадлежит к числу маленьких. Размер среднего скопления галактик еще в сто раз больше, он может превышать десяток миллионов световых лет. Размеры наибольших различимых деталей в распределении галактик, типа нитей и пустот, еще в десятки раз больше. Но все равно размеры этих деталей в 50-100 раз меньше размеров всей наблюдаемой части Вселенной.

Есть данные о возможном наличии во Вселенной несветящегося вещества, так называемой скрытой массы. Ее средняя плотность может раз в десять превышать среднюю плотность светящегося вещества, сосредоточенного в звездах и галактиках. В какой форме реализована эта скрытая масса, пока неизвестно.

Наблюдательный факт грандиозного значения состоит в том, что система галактик не является статичной, а расширяется. Конечно, отдельные галактики и компактные скопления образуют стабильные гравитационно связанные системы и не расширяются. Закон расширения устанавливается наиболее четко для системы скоплений галактик. Обычно рассматривают ярчайшие члены скоплений, расположенные, как правило, в центрах скоплений. Из огромного числа наблюдений вытекает,

что для любой пары таких объектов скорость их удаления друг от друга пропорциональна расстоянию между ними.

Такой простой закон применим по крайней мере к галактикам, для которых входящая в это соотношение скорость меньше скорости света. Коэффициент пропорциональности между скоростью разбегания галактик и расстоянием между ними называется параметром Хаббла. Обратная величина имеет размерность времени, ее-то и называют возрастом Вселенной. Такое название обусловлено тем, что, разлетаясь с постоянной относительной скоростью, любая пара объектов успела бы за это время увеличить взаимное расстояние от нуля до наблюдаемого сейчас значения. По современным данным, возраст Вселенной равен 10-20 миллиардам лет.

Известны независимые оценки возраста отдельных астрономических систем: Солнечной системы, звезд, звездных скоплений, галактик. Эти оценки основаны на данных об относительном содержании различных химических элементов и на теории звездной эволюции. Возраст Солнечной системы оценивается в 5 миллиардов лет, возраст старейших шаровых звездных скоплений и, косвенно, галактик 11-13 миллиардов лет.

При расширении средняя плотность вещества падает, следовательно, в догалактическую эпоху оно было более плотным и горячим. Можно с уверенностью сказать, что 10-20 миллиардов лет назад Вселенная была совершенно не похожа на ту, которую мы сейчас наблюдаем. Этот вывод убедительно подтверждается существованием так называемого реликтового излучения, открытого в 1965 г. с помощью радиотелескопов. От излучения изолированных объектов оно отличается тем, что приходит не от отдельных источников, а со всех направлений, равномерно заполняя всю небесную сферу. Его температура около трех градусов по абсолютной шкале.

Еще одна группа наблюдательных сведений, входящая важной составной частью в наши представления о современной и ранней Вселенной, касается химического состава окружающего нас вещества. Самым распространенным элементом является водород. На его долю приходится около 75% всей массы вещества.

Почти все остальное — на долю гелия. Многочисленные легкие и тяжелые элементы, встречающиеся в природе, представлены лишь долями процента. Все вместе они едва ли дают 2% вклада в общую массу вещества. С этой точки зрения планеты, построенные из тяжелых элементов, и жизнь на них являются чрезвычайно большой редкостью.

Элементы от углерода до железа возникают в недрах звезд на спокойной стадии их эволюции как продукт термоядерных реакций. Более тяжелые элементы образуются во взрывных процессах типа вспышек сверхновых звезд. В результате взрывов массивных звезд, быстро заканчивающих свою эволюцию, разнообразные химические элементы попадают в межзвездный газ. Гелий и некоторые другие легкие элементы имеют дозвездное происхождение.

Исторически представление о нестационарности Вселенной было впервые введено нашим соотечественником А. А. Фридманом еще до экспериментального доказательства явления "разбегания" галактик. В своих работах А. А. Фридман исходил из простейших предположений об однородности и изотропности непрерывного распределения вещества. Он использовал уравнение релятивистской теории тяготения А. Эйнштейна и доказал, что соответствующие решения обязательно зависят от времени. В зависимости от начальных условий оно может либо расширяться с замедлением, либо сжиматься. Окончательная судьба расширяющейся гравитирующей системы зависит от того, достаточно ли велика средняя плотность вещества, чтобы силы тяготения затормозили расширение и в дальнейшем перевели расширение в сжатие. Если средняя плотность вещества больше некоторого значения, называемого критическим, то расширение сменится сжатием, в противном случае оно будет продолжаться неограниченно.

Очевидно, что критическое значение плотности определяется темпом расширения и выражается через параметр Хаббла. По современным данным, средняя плотность всех видов материи (включая скрытую массу) в наблюдаемой Вселенной близка к критической.

В соответствии с фридмановскими решениями можно рассчитать ход изменения плотности и температуры как в будущее, так и в прошлое. Пользуясь этими расчетами, Г. Гамов предсказал, что современная Вселенная должна быть заполнена электромагнитным излучением с температурой около 6 градусов. Хотя действительное обнаружение реликтового 3-градусного излучения произошло случайно, в принципе его существование ожидалось.

Вопрос о строении Вселенной в очень больших масштабах дополняется вопросом о свойствах Вселенной на очень ранней стадии ее эволюции. Неопределенность в ответе на этот вопрос отчасти связана с тем, что неизвестны свойства материи при огромных плотностях, на много порядков превышающих ядерную, и с бесконечными значениями всех физических величин: плотности энергии, давления, напряженности гравитационного поля и т. д. Состояние, характеризуемое такими значениями, называют сингулярностью. Для его изучения классические понятия длины и времени не применимы. Это область квантовой космологии.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее распространенными объектами окружающего нас материального мира являются звезды — небесные тела, подобные нашему Солнцу и находящиеся в состоянии плазмы. Некоторые из звезд имеют обращающиеся вокруг них планетные системы, подобные Солнечной системе. Земля является макротелом астрономического масштаба, одной из девяти планет обращающихся вокруг звезды — Солнца.

2. Солнце, звезды и звездные скопления, наблюдаемые на небе, образуют систему, которую мы называем нашей Галактикой. Галактика (греч. *galaktikos* — млечный, молочный) — наша звездная система, включающая в себя звезды Млечного Пути — $2 \cdot 10^{11}$ звезд, в том числе Солнце со всеми планетами. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой другие галактики.

3. Галактики имеют тенденцию располагаться по границам гигантских ячеек. Ячеистая структура распределения галактик является наиболее крупной структурой Метагалактики — видимой части Вселенной. Система галактик и их скоплений называется Метагалактикой.

4. Вселенная — весь материальный мир, безграничный в пространстве, развивающийся во времени, окружающий нас и познаваемый нами. Всеобъемлющая Вселенная — это вся материя в целом, взятая во всем ее потенциально возможном пространственно-временном структурном многообразии как совокупное множество всех потенциально возможных материальных миров.

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

Вопросы для контроля знаний

1. *Какие закономерности обнаружены в строении, движении и свойствах Солнечной системы?*
2. *Каковы основные параметры, определяющие свойства звезд?*
3. *Как распределены галактики во Вселенной?*
4. *Чем отличаются понятия "Метагалактика" и "Вселенная"?*
5. *Как соотносятся между собой понятия "мир", "космос", "Вселенная"?*
6. *Как можно истолковать такое высказывание: "Вселенная, в которой мы живем, безгранична, но конечна"?*
7. *Можно ли считать Солнечную систему единственной планетной системой?*
8. *Какова структура Солнечной системы?*
9. *Назовите большие планеты Солнечной системы.*
10. *Какая из планет расположена наиболее близко к Солнцу?*
11. *Какие из планет земной группы имеют атмосферу?*
12. *В чем отличия атмосферы Земли от атмосферы других планет?*

Глава 11. ХАРАКТЕР ЕСТЕСТВЕН НОН АУЧ Н ЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИРОДЫ

*О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог-изобретатель.*

А. С. Пушкин

11.1. Детерминизм процессов природы

Детерминизм в современной науке определяется как учение о всеобщей, закономерной связи явлений и процессов окружающего мира. Наличие таких связей является доказательством материального единства мира и существования в мире общих закономерностей. Очень часто детерминизм отождествляется с причинностью, но такой взгляд нельзя считать правильным хотя бы потому, что причинность выступает как одна из форм проявления детерминизма.

Законы, с которыми имеет дело классическая механика, имеют универсальный характер, т. е. они относятся ко всем без исключения изучаемым объектам природы. Отличительная особенность такого рода законов состоит в том, что предсказания, полученные на их основе, имеют достоверный и однозначный характер. Наиболее ярко они проявились после того как на основе закона всемирного тяготения, изложенного И. Ньютоном в 1671 г. в "Математических началах натуральной философии" и законов механики возникла небесная механика. На основе законов небесной механики были вычислены отклонения в движении Урана, вызванные возмущающим влиянием неизвестной тогда планеты. Определив величину возмущения, независимо друг

от друга по законам механики положение неизвестной планеты рассчитали Д. Адамс и У. Леверье. Всего на угловом расстоянии в 1° от рассчитанного ими положения И. Галле обнаружил планету Нептун. Открытие Нептуна, сделанное на кончике пера, как отметил Ф. Энгельс, блестяще подтвердило справедливость законов небесной механики и наличие в природе однозначных причинных связей. Это позволило французскому механику П. Лапласу сказать: дайте мне начальные условия, и я, с помощью законов механики, предскажу дальнейшее развитие событий. Это вошло в историю как лапласовый, или механистический детерминизм, который допускает однозначные причинные связи в явлениях природы.

Наряду с ними в науке с середины XIX в. стали все шире применяться законы другого типа. Их предсказания не являются однозначными, а являются только вероятностными. Вероятностными они называются потому, что заключения, основанные на них, не следует логически из имеющейся информации, а потому не являются достоверными и однозначными. Информация при этом носит статистический характер, законы, выражающие эти процессы, называют статистическими законами, и этот термин получил в науке большое распространение.

В классической науке статистические законы не признавали подлинными законами, так как ученые в прошлом предполагали, что за ними должны стоять такие же универсальные законы, как закон всемирного тяготения Ньютона, который считался образцом детерминистического закона, поскольку он обеспечивает точные и достоверные предсказания приливов и отливов, солнечных и лунных затмений и других явлений природы. Статистические же законы признавались в качестве удобных вспомогательных средств исследования, дающих возможность представить в компактной и удобной форме всю имеющуюся информацию о каком-либо предмете исследования. Подлинными законами считались именно детерминистические законы, обеспечивающие точные и достоверные предсказания. Эта терминология сохранилась до настоящего времени, когда статистические, или вероятностные, законы квалифицируются как индетерминистические, с чем вряд ли можно согласиться.

Отношение к статистическим законам принципиально изменилось после открытия законов квантовой механики, предсказания которых имеют существенно вероятностный характер.

Таким образом, исторически детерминизм выступает в двух следующих формах:

1) лапласовый, или механистический, детерминизм, в основе которого лежат универсальные законы классической физики;

2) вероятностный детерминизм, опирающийся на статистические законы и законы квантовой физики.

В динамических теориях явления природы подчиняются однозначным (динамическим) закономерностям, а статистические теории основаны на объяснении процессов вероятностными (статистическими) закономерностями. К динамическим теориям относятся классическая механика (создана в XVII-XVIII вв.), механика сплошных сред, т. е. гидродинамика (XVIII в.), теория упругости (начало XIX в.), классическая термодинамика (XIX в.), электродинамика (XIX в.), специальная и общая теория относительности (начало XX в.). К статистическим теориям относятся статистическая механика (вторая половина XIX в.), микроскопическая электродинамика (начало XX в.), квантовая механика (первая треть XX в.). Таким образом, XIX столетие получается столетием динамических теорий; XX столетие — столетием статистических теорий. Значит, динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории.

В современной концепции детерминизма органически сочетаются необходимость и случайность. Признание самостоятельности статистических, или вероятностных, законов, отображающих существование случайных событий в мире, дополняет прежнюю картину строго детерминистического мира. В результате в новой современной картине мира необходимость и случайность выступают как взаимосвязанные и дополняющие друг друга аспекты объяснения окружающего мира.

Рассматривая проблему соотношения между динамическими и статистическими закономерностями, современная наука

исходит из концепции примата статистических закономерностей. Не только динамические, но и статистические законы выражают объективные причинно-следственные связи. Более того, именно статистические закономерности являются фундаментальными, более глубокими по сравнению с динамическими закономерностями, они ярче выражают указанные связи.

Современную концепцию детерминизма можно сформулировать следующим образом: динамические законы представляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего мира; статистические же законы более совершенно отображают объективные связи в природе: они являются следующим, более высоким этапом познания.

В качестве примера динамических законов можно назвать закон Ома, выражающий зависимость сопротивления от его состава, площади поперечного сечения и длины. Этот закон охватывает множество различных проводников и действует в каждом отдельном проводнике, входящем в это множество.

Статистический характер имеет, например, взаимосвязь изменений давления газа и его объема при постоянной температуре, выявленная Бойлем и Мариоттом. Данная закономерность имеет место лишь в массе хаотически перемещающихся молекул, составляющих тот или иной объем газа. Статистическими являются законы квантовой механики, касающиеся движения микрочастиц; они не в состоянии определить движение каждой отдельной частицы, но определяют движение группы, того или иного множества.

В отличие от динамических законов, статистические законы не позволяют точно предсказать наступление или ненаступление того или иного конкретного явления, направление и характер изменения тех или иных его характеристик. На основе статистических закономерностей можно определить лишь степень вероятности возникновения или изменения соответствующего явления. Динамические теории не противостоят статистическим, а включаются в рамки последних как предельный случай. Это хорошо видно на примере классической механики, которую можно рассматривать как предельный случай квантовой механики.

Таким образом, согласно современной научной концепции, можно говорить о всеобщности, универсальности вероятностного подхода. Это означает, в частности, что деление фундаментальных теорий на динамические и статистические является, строго говоря, условным. Фактически все фундаментальные теории должны рассматриваться как статистические. Например, классическую механику с полным основанием следует считать статистической теорией, так как лежащий в ее основе принцип наименьшего действия имеет вероятностную природу, потому что, согласно принципу минимума энергии, состояние с наименьшей энергией оказывается наиболее вероятным.

Методологические вопросы современной физики органически связаны с вопросами материалистической диалектики. Развитие современной физики основано на диалектике необходимого и случайного, сохранения и изменения, единичного и общего и т. д. Современная физика пришла к выводу о фундаментальности вероятностных закономерностей. Наука рассматривает два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономерностей—динамические и статистические. Изучение истории возникновения фундаментальных физических теорий позволяет сделать вывод, что динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории. Наиболее ярко сочетание этих концепций детерминизма в познании природных явлений проявилось при изучении термодинамических процессов и явлений. Рассмотрим основные концепции этих методов в применении к термодинамике.

11.2. Термодинамика и концепция необратимости

*Человек может сделать путь
великим, не путь делает великим
человека.*

Конфуций

История открытия закона сохранения и превращения энергии привела к изучению тепловых явлений в двух направлениях:

термодинамическом, изучающем тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества, и молекулярно-кинетическом, исследующем тепловые явления как результат совместного действия огромной совокупности движущихся частиц, из которых состоит вещество. Термодинамика возникла из обобщения многочисленных фактов, описывающих явления передачи, распространения и превращения тепла. Молекулярно-кинетическое направление характеризуется рассмотрением различных макропроявлений систем как результат суммарного действия огромной совокупности хаотически движущихся молекул. При этом молекулярно-кинетическая теория использует статистический метод, интересуясь не движением отдельных молекул, а только средними величинами, которые характеризуют движение огромной совокупности частиц. Отсюда другое ее название — статистическая физика. Оформившись к середине XX в., оба эти направления подходят к рассмотрению изучения состояния вещества с различных точек зрения и дополняют друг друга, образуя одно целое.

Работа Д. Джоуля, Ю. Майера и других установили так называемое первое начало термодинамики. Р. Клаузиус первым высказал мысль об эквивалентности работы и количества теплоты как о первом начале термодинамики. Всякое тело имеет внутреннюю энергию, которую Клаузиус назвал "теплом содержащимся в теле" (U) в отличие от "тепла, сообщенного телу" (Q). Величину U можно увеличить двумя эквивалентными способами — произведя над телом механическую работу (A) или сообщая ему количество теплоты (Q).

Общепризнанным является тот факт, что распространение тепла представляет собой необратимый процесс и тепло передается от горячего тела к холодному, а не наоборот. Важной концепцией термодинамики является то, что Клаузиус определил, что при работе тепловой машины не все количество теплоты, взятое у нагревателя, передается холодильнику. Часть этой теплоты превращается в работу, совершаемую машиной (рис. 11.1). Клаузиус показал, что объяснение превращения теплоты в работу основывается еще на одном принципе, сформулированном С. Карно, утверждающим, что в любом непрерывном процессе

превращения теплоты от горячего нагревателя в работу непременно должна происходить отдача теплоты холодильнику. Совершаемая при этом тепловая работа (A) оценивается коэффициентом полезного действия (η) следующим образом: $\eta = A/Q_1$, где Q — количество теплоты, переданное нагреванием. Максимальный коэффициент полезного действия имеет идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, коэффициент полезного действия которой определяется как

$$\eta = (T_1 - T_2)/T_1,$$

где T_1 — абсолютная температура нагревателя; T_2 — абсолютная температура холодильника.



Рис. 11.1. Схема тепловой машины

Таким образом, имеет место общее свойство теплоты, заключающееся в том, что теплота "всегда обнаруживает тенденцию к уравниванию температурной разницы путем перехода от теплых тел к холодным". Это положение Клаузиус предложил назвать "вторым основным положением механической теории теплоты", и в современную науку оно вошло как второе начало термодинамики.

Все эти многочисленные факты и нашли свое обобщение и теоретическое объяснение в законах классической термодинамики:

1. Если к системе подводить тепло Q и над ней производить работу A , то энергия системы возрастает до величины U : $U = Q + A$. Эту энергию U называют внутренней энергией системы.

2. Невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при

постоянной температуре, т. е. тепло не может перетечь самопроизвольно от холодного тела к горячему.

В первом законе речь идет о сохранении энергии, во-втором — о невозможности производства работы исключительно за счет изъятия тепла из одного резервуара при постоянной температуре, т. е. о направлении тепловых процессов в природе.

В 1865 г. немецкий физик Рудольф Клаузиус для формулировки второго закона термодинамики ввел новое понятие — "**энтропия**" (от греч. *entropia* — поворот, превращение). Клаузиус рассчитал, что существует некоторая величина S , которая подобно энергии, давлению, температуре характеризует состояние газа. Когда к газу подводится некоторое количество теплоты, AQ , то энтропия S возрастает на величину, равную $\Delta S = AQ/T$.

В течение длительного времени ученые не делали различий между теплотой и температурой. Однако ряд явлений указывал на то, что эти понятия следует различать. Например, при плавлении кристаллического тела теплота расходуется, а температура тела не изменяется в процессе плавления. После введения Клаузиусом понятия энтропии стало понятно, где пролегает граница четкого различия таких понятий, как теплота и температура. Дело в том, что нельзя говорить о каком-то количестве теплоты, заключенном в теле. Это понятие не имеет смысла. Теплота может передаваться от тела к телу, переходить в работу, возникать при трении, но при этом она не является сохраняющейся величиной. Поэтому теплота определяется в физике не как вид энергии, а как мера изменения энергии. В то же время введенная Клаузиусом энтропия, как и температура, оказалась величиной, сохраняющейся в обратимых процессах; это означает, что энтропия системы может рассматриваться как функция состояния системы, ибо изменение ее не зависит от вида процесса, а определяется только начальным и конечным состоянием системы.

Было также показано, что изменение энтропии в случае обратимых процессов не происходит, т. е. $\Delta S = 0$. Значит, энтропия изолированной системы в случае обратимых процессов посто-

янна. При необратимых процессах получаем закон возрастания энтропии: $\Delta S > 0$.

Для описания термодинамических процессов первого закона термодинамики оказывается недостаточно, ибо первое начало термодинамики не позволяет определить направление протекания процессов в природе. Тот факт, что энтропия изолированной системы не может убывать, а только возрастает и достигает максимального значения в равновесном состоянии, является отражением того, что в природе возможны процессы, протекающие только в одном направлении — в направлении передачи тепла от более горячих тел менее горячим.

Физический смысл энтропии и само понятие энтропии введено в физическую теорию, чтобы отличать в случае изолированных систем обратимые процессы, при которых энтропия максимальна и постоянна от необратимых процессов, когда энтропия возрастает.

Благодаря работам австрийского физика Людвиг Больцмана, это отличие было сведено с макроскопического уровня на микроскопический. Состояние макроскопического тела (системы), заданное с помощью макропараметров (параметров, которые могут быть измерены макроскопическими приборами, — давление, температура, объем и другие макроскопические величины, характеризующие систему в целом), называют макросостоянием. Состояние макроскопического тела, охарактеризованное настолько подробно, что оказываются заданными состояния всех образующих тело молекул, называется микросостоянием. Всякое макросостояние может быть осуществлено различными способами, каждому из которых соответствует некоторое микросостояние системы. Число возможных различных микросостояний, соответствующих данному макросостоянию, называют термодинамической вероятностью W макросостояния.

Больцман первым увидел связь между энтропией и вероятностью и связал их. В 1906 году Макс Планк вывел формулу, выражающую основную мысль Больцмана об интерпретации энтропии как логарифма вероятности состояния системы: $S = k \ln W$. Коэффициент пропорциональности k рассчитан Планком и на-

зван им постоянной Больцмана. Формула: " $S = k \ln W$ " выгравирована на памятнике Больцману на кладбище в Вене.

Таким образом, энтропия изолированной системы при протекании необратимых процессов возрастает, ибо система, предоставленная самой себе, переходит из менее вероятного состояния в более вероятное. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии, максимальная и постоянная ($\Delta S = 0$).

Идея Больцмана о вероятностном поведении отдельных молекул явилась развитием нового подхода при описании систем, состоящих из огромного числа частиц, впервые высказанного Д. Максвеллом. Он ввел для описания случайного характера поведения молекул понятие вероятности, вероятностный (статистический) закон. В дальнейшем Больцман также показал, что второй закон термодинамики также является следствием более глубоких статистических законов поведения большой совокупности частиц. Он же интерпретировал понятие энтропии в терминах изменения порядка в системе. Когда энтропия системы возрастает, то соответственно усиливается беспорядок в системе, т. е. энтропия выражает меру беспорядка системы. В таком случае второй закон термодинамики постулирует: энтропия замкнутой системы, т. е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, постоянно возрастает. А это означает, что такие системы эволюционируют в сторону увеличения в них беспорядка, хаоса и дезорганизации, пока не достигнут точки термодинамического равновесия, в которой всякое производство работы становится невозможным.

Поскольку об изменении системы в классической термодинамике мы можем судить по увеличению их энтропии, то последняя и выступает в качестве своеобразной стрелы времени. Термодинамика впервые ввела в физику понятие времени в весьма своеобразной форме, а именно необратимого процесса возрастания энтропии в системе. Чем выше энтропия системы, тем больший временной промежуток прошла система в своей эволюции. Такое понятие о времени и особенно об эволюции системы в термодинамике коренным образом отличается от понятия времени и эволюции, которое лежало в основе эволюционной те-

ории Дарвина. В то время как в дарвиновской теории происхождения новых видов растений и животных путем естественного отбора эволюция направлена на выживание более совершенных организмов и усложнение их организации, в термодинамике эволюция связывалась с дезорганизацией систем. В таком случае становилось непонятным, каким образом из неживой природы, системы которой имеют тенденцию к дезорганизации, могла появиться когда-либо живая природа, где системы, напротив, стремятся к совершенствованию и усложнению своей организации. Все это показало, что результаты исследования классической термодинамики находились в явном противоречии с тем, что было хорошо известно из других направлений науки. Это противоречие оставалось неразрешенным вплоть до 60-х годов XX в., пока не появилась новая, неравновесная термодинамика, которая опирается на концепцию необратимых процессов, рассматриваемых нами в 20-й главе.

11.3. Проблема "тепловой смерти Вселенной"

*Ограничение области знания лишь
небольшой группой людей
ослабляет философский дух народа
и ведет к духовному обнищанию.*

А. Эйнштейн

Классическая термодинамика оказалась не способной решить и космологические проблемы характера протекания процессов, происходящих во Вселенной. Уильям Томпсон экстраполировал принцип возрастания энтропии на крупномасштабные процессы, протекающие в природе. На основе этого Р. Клаузиус распространил этот принцип на Вселенную в целом, что привело его к гипотезе о "тепловой смерти Вселенной". Все физические процессы, согласно второму началу термодинамики, протекают в направлении передачи тепла от более горячих тел к менее горячим. Это означает, что медленно, но верно идет процесс выравнивания температуры во Вселенной. Следовательно, будущее вырисовывается перед нами в достаточно трагических тонах:

ожидается исчезновение температурных различий в природе и превращение всей мировой энергии в теплоту, равномерно распределенную во Вселенной. Отсюда Клаузиус выдвинул два постулата:

1. Энергия Вселенной всегда постоянна.
2. Энтропия Вселенной всегда растет к максимуму.

Если принять второй постулат, то необходимо признать, что процессы во Вселенной направлены в сторону достижения состояния термодинамического равновесия, соответствующего максимуму энтропии, а следовательно, состояния, характеризуемого наибольшей степенью хаоса, беспорядка и дезорганизации. В таком случае во Вселенной наступит тепловая смерть и никакой полезной работы в ней произвести будет нельзя.

Вытекающий отсюда вывод о грядущей тепловой смерти Вселенной, означает прекращение каких-либо физических процессов вследствие перехода Вселенной в равновесное состояние с максимальной энтропией. На протяжении всего дальнейшего развития этот вывод привлекает внимание ученых, ибо затрагивает не только глубинные проблемы чисто научного характера, но также философско-мировоззренческие аспекты, указывающие определенную верхнюю границу возможного существования человечества. Такие мрачные прогнозы встретили критику со стороны ряда выдающихся ученых. Однако в середине XIX в. мало было научных аргументов для опровержения мнения Р. Клаузиуса. Только единицы догадывались, что понятие закрытой, или изолированной, системы является далеко идущей абстракцией, не отражающей реальный характер систем, которые встречаются в природе.

С научной точки зрения возникают проблемы правомерности следующих экстраполяций, высказанных Клаузиусом:

1. Вселенная рассматривается как замкнутая система.
2. Эволюция мира может быть описана как смена его состояний.
3. Для мира как целого состояние с максимальной энтропией имеет смысл, как и для любой конечной системы.

Проблемы эти представляют несомненную трудность и для современной физической теории. Решение их следует искать в общей теории относительности и развивающейся на ее основе современной космологии. Многие теоретики считают, что в общей теории относительности мир как целое должен рассматриваться не как замкнутая система, а как система, находящаяся в переменном гравитационном поле. В связи с этим применение закона возрастания энтропии не приводит к выводу о необходимости в нем статистического равновесия.

Проблему будущего развития Вселенной пытался разрешить и Больцман, применивший к замкнутой Вселенной понятие флуктуации. Под флуктуацией какой-то физической величины понимается отклонение истинного значения данной величины от ее среднего значения, обусловленного, например, хаотическим тепловым движением частиц системы. Больцман принял ограничение Максвелла, согласно которому для небольшого числа частиц второе начало термодинамики не должно применяться, ибо в случае небольшого числа молекул нельзя говорить о состоянии равновесия системы. При этом он использует это ограничение для Вселенной, рассматривая видимую часть Вселенной как небольшую область бесконечной Вселенной. Для такой небольшой области допустимы небольшие флуктуационные отклонения от равновесия, благодаря чему в целом исчезает необратимая эволюция Вселенной в направлении к хаосу.

К сожалению, мечта Больцмана не сбылась в полной мере. Ему не удалось найти ключ к объединению динамики и второго начала термодинамики, а предлагаемая флуктуационная модель эволюции Вселенной имела всего лишь характер гипотезы. Скептическое отношение многих ученых к атомистической теории Больцмана (сам он был убежден в том, что отстаиваемое им учение об атомах завоюет признание через много десятков лет), трудности с определением роли второго начала термодинамики в системе естествознания, а возможно, и ряд других причин привели этого замечательного ученого к трагическому концу. В 1906 году он покончил жизнь самоубийством.

XX век вносит коррективы в изучение проблем эволюции Вселенной. Формируется новое междисциплинарное направление — синергетика, и на его основе возникает теория самоорганизации сложных систем. В отличие от закрытых, или изолированных, реальными системами в природе являются открытые системы. Они обмениваются с окружающей средой энергией, веществом и информацией. Опыт и практическая деятельность свидетельствовали, что понятие закрытой, или изолированной, системы представляет собой далеко идущую абстракцию и потому она слишком упрощает и углубляет действительность, поскольку в ней трудно или даже невозможно найти системы, которые бы не взаимодействовали с окружающей средой. Поэтому в новой термодинамике место закрытой изолированной системы заняло принципиально иное фундаментальное понятие открытой системы, которая способна обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией.

Открытая система не может быть равновесной, потому что ее функционирование требует непрерывного поступления из внешней среды энергии или вещества, богатого энергией. В результате такого взаимодействия система, как указывал Эрвин Шредингер, извлекает порядок из окружающей среды и тем самым вносит беспорядок в эту среду. В открытых системах также производится энтропия, поскольку в них происходят необратимые процессы, но энтропия в этих системах не накапливается, как в закрытых системах, а выводится в окружающую среду. Поскольку энтропия характеризует степень беспорядка в системе, постольку можно сказать, что открытые системы живут за счет заимствования энергии или вещества из внешней среды. Очевидно, что с поступлением новой энергии или вещества неравновесность в системе возрастает. В конечном счете прежняя взаимосвязь между элементами системы, которая определяет ее структуру, разрушается. Между элементами системы возникают новые связи, которые приводят к кооперативным процессам, т. е. к коллективному поведению ее элементов. Так, схематически могут быть охарактеризованы процессы самоорганизации открытых систем.

Как отмечает основоположник теории самоорганизации И. Р. Пригожин, переход от термодинамики равновесных состояний к термодинамике неравновесных процессов, несомненно, знаменует прогресс в развитии ряда областей науки.

ВЫВОДЫ

1. Детерминизм — это учение о всеобщей закономерной связи явлений и процессов в окружающем мире. Причинность является одной из форм проявления детерминизма. Исторически в науке сложились два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономерностей — динамические и статистические (вероятностные).

2. Современную концепцию детерминизма можно сформировать следующим образом: динамические законы представляют собой первый, низший этап в процессе познания окружающего нас мира; статистические законы более совершенно отображают объективные связи в природе: они являются следующим, более высоким этапом познания.

3. Наиболее ярко динамический и статистический детерминизм проявляется при рассмотрении тепловых процессов. Динамический подход характерен для термодинамики. Молекулярно-кинетическая теория использует статистический метод, интересуясь не движением отдельных молекул, а только средними величинами, которые характеризуют движение огромной совокупности частиц. Поэтому при изучении тепловых явлений в науке используют два направления: статистические законы и термодинамические законы, изучающие тепловые процессы без учета молекулярного строения вещества.

4. Если к системе подводится тепло и над ней производится работа, то энергия системы возрастает до величины, равной сумме этих величин. Невозможно осуществить процесс, единственным результатом которого было бы превращение тепла в работу при постоянной температуре. Тепло не может перетечь самопроизвольно от холодного тела к горячему.

5. Энтропия есть мера неупорядоченности системы. Энтропия замкнутой системы, т. е. системы, которая не обменивается с окружением ни энергией, ни веществом, постоянно возрастает.

6. Основываясь на связи энтропии с вероятностью, Больцман сформулировал, что природа стремится перейти из состояния менее вероятного в состояние более вероятное. Энтропия системы, находящейся в равновесном состоянии, максимальна и постоянна.

7. Второе начало термодинамики устанавливает в природе наличие фундаментальных асимметрий, т. е. однонаправленности всех происходящих самопроизвольных процессов. Об этой асимметрии, выделенной Клаузиусом и Кельвином, говорят все окружающие нас явления. Хотя количество энергии в замкнутых системах сохраняется, распределение энергии меняется необратимым способом. Распространение принципа возрастания энтропии на всю Вселенную привело Клаузиуса и Кельвина к гипотезе "тепловой смерти Вселенной".

8. Большинство систем являются открытыми, т. е. обменивающимися энергией или веществом с окружающей средой, поэтому понятие термодинамики расширялось для открытых систем. Энтропия в открытых системах может возникать и переноситься.

9. В стационарных неравновесных состояниях производится минимальная величина энтропии, что отражает внутреннюю инерцию и устойчивость систем, поэтому, если какие-то внешние условия не позволяют системе перейти в устойчивое равновесие, она перейдет в стационарное с минимальным производством энтропии — теорема Пригожина.

Вопросы для контроля знаний

- 1. Чем отличаются универсальные законы от статистических?*
- 2. Почему лапласовский детерминизм оказался несостоятельным?*
- 3. Почему причинность не совпадает с детерминизмом в целом?*
- 4. Как можно было бы определить современный детерминизм?*
- 5. Какие процессы называются обратимыми?*
- 6. Что выражает первый закон термодинамики?*
- 7. Дайте простую формулировку второго закона термодинамики.*

8. Как можно сформулировать этот же закон с помощью понятия энтропии?
9. Как происходит эволюция в закрытых системах?
10. Кто впервые выдвинул идею "тепловой смерти Вселенной" и в чем ее несостоятельность по современным представлениям?
11. Как происходит самоорганизация в открытых системах?

Глава 12. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

*Ньютоновская Вселенная пала
замертво, а на ее месте оказалась
Вселенная Эйнштейна. Эйнштейн
не спорил с научными фактами, он
поднял руку на аксиомы науки, а
наука не устояла перед его напором.*
Б. Шоу

12.1. Большой взрыв и расширяющаяся Вселенная

В истории познания окружающего нас мира четко прослеживается общее направление — постепенное признание неисчерпаемости природы, ее бесконечности во всех отношениях. Вселенная бесконечна в пространстве и во времени, и если отбросить идеи И. Ньютона о "первом толчке", то такого рода мировоззрение можно считать вполне материалистическим. Ньютоновская Вселенная утверждала, что пространство естьместилище всех небесных тел, с движением и массой которых оно никак не связано; Вселенная всегда одна и та же, т. е. стационарна, хотя в ней постоянно происходит гибель и рождение миров.

Казалось бы, небо ньютоновской космологии обещало быть безоблачным. Однако очень скоро пришлось убедиться в обратном. В течение XIX в. обнаружились три противоречия, которые были сформулированы в форме трех парадоксов, названных космологическими. Они, казалось, подрывали представление о бесконечности Вселенной.

Фотометрический парадокс. Если Вселенная бесконечна и звезды в ней распределены равномерно, то по любому направлению мы должны видеть какую-нибудь звезду. В этом случае фон неба был бы ослепительно ярким, как Солнце.

Гравитационный парадокс. Если Вселенная бесконечна и звезды равномерно занимают ее пространство, то сила тяготения в каждой его точке должна быть бесконечно велика, а стало быть, бесконечно велики были бы и относительные ускорения космических тел, чего, как известно, нет.

Термодинамический парадокс. По второму закону термодинамики все физические процессы во Вселенной в конечном счете сводятся к выделению теплоты, которая необратимо рассеивается в мировом пространстве. Рано или поздно все тела остынут до температуры абсолютного нуля, движение прекратится и наступит навсегда "тепловая смерть". Вселенная имела начало, и ее ждет неизбежный конец.

Первая четверть XX в. прошла в томительном ожидании развязки. Никто, разумеется, не хотел отрицать бесконечность Вселенной, но, с другой стороны, никому не удавалось устранить космологические парадоксы стационарной Вселенной. Лишь гений Альберта Эйнштейна внес новую струю в космологические споры.

Ньютоновская классическая физика, как уже говорилось, рассматривала пространство какместилище тел. Никакого взаимодействия между телами и пространством по Ньютону и быть не могло.

В 1916 г. А. Эйнштейн опубликовал основы общей теории относительности. Одна из главных ее идей состоит в том, что материальные тела, в особенности большой массы, заметно искривляют пространство. Из-за этого, например, луч света, проходящий вблизи Солнца, изменяет первоначальное направление.

Представим себе теперь, что во всей наблюдаемой нами части Вселенной материя равномерно "размазана" в пространстве и в любой его точке действуют одни и те же законы. При некоторой средней плотности космического вещества выделенная ограниченная часть Вселенной не только искривит пространство, но

даже замкнет его "на себя". Вселенная (точнее, выделенная ее часть) превратится в замкнутый мир, напоминающий обычную сферу. Но только это будет четырехмерная сфера, или гиперсфера, представить себе которую мы, трехмерные существа, не в состоянии. Однако, мысля по аналогии, мы легко разберемся в некоторых свойствах гиперсферы. Она, как и обычная сфера, имеет конечный объем, заключающий в себе конечную массу вещества. Если в мировом пространстве лететь все время в одном направлении, то через некоторое число миллиардов лет можно попасть в исходную точку.

Идею о возможности замкнутости Вселенной впервые высказал А. Эйнштейн. В 1922 г. советский математик А. А. Фридман доказал, что "замкнутая Вселенная" Эйнштейна никак не может быть статичной. В любом случае ее пространство или расширяется, или сжимается со всем своим содержимым.

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл открыл замечательную закономерность: линии в спектрах подавляющего большинства галактик смещены к красному концу, причем смещение тел тем больше, чем дальше от нас находится галактика. Это интересное явление называется красным смещением. Объяснив красное смещение эффектом Доплера, т. е. изменением длины волны света в связи с движением источника, ученые пришли к выводу о том, что расстояние между нашей и другими галактиками непрерывно увеличивается. Конечно, галактики не разлетаются во все стороны от нашей Галактики, которая не занимает никакого особого положения в Метагалактике, а происходит взаимное удаление всех галактик. Это означает, что наблюдатель, находящийся в любой галактике, мог бы, подобно нам, обнаружить красное смещение, ему казалось бы, что от него удаляются все галактики. Таким образом, Метагалактика нестационарна. Открытие расширения Метагалактики свидетельствует о том, что Метагалактика в прошлом была не такой, как сейчас, и иной станет в будущем, т. е. Метагалактика эволюционирует.

По красному смещению определены скорости удаления галактик. У многих галактик они очень велики, соизмеримы со скоростью света. Самыми большими скоростями, иногда превы-

шающими 250 тыс. км/с, обладают некоторые квазары, считающиеся самыми удаленными от нас объектами Метагалактики.

Закон, согласно которому красное смещение (а значит, и скорость удаления галактик) возрастает пропорционально расстоянию от галактик (закон Хаббла), можно записать в виде: $v = H \cdot r$, где v — лучевая скорость галактики; r — расстояние до нее; H — постоянная Хаббла. По современным оценкам, значение H заключено в пределах:

$$50 \text{ км/с Мпк} < H < 100 \text{ км/с Мпк}$$

Следовательно, наблюдаемый темп расширения Метагалактики таков, что галактики, разделенные расстоянием 1 Мпк ($3 \cdot 10^{19}$ км), удаляются друг от друга со скоростью от 50 до 100 км/с. Если скорость удаления галактики известна, то можно вычислить расстояние до далеких галактик.

Итак, мы живем в расширяющейся Метагалактике. Это явление имеет свои особенности. Расширение Метагалактики проявляется только на уровне скоплений и сверхскоплений галактик, т. е. систем, элементами которых являются галактики. Другая особенность расширения Метагалактики заключается в том, что не существует центра, от которого разбегаются галактики.

Расширение Метагалактики — самое грандиозное из известных в настоящее время явлений природы. Правильное его истолкование имеет исключительно большое мировоззренческое значение. Не случайно в объяснении причины этого явления резко проявилось коренное отличие философских взглядов ученых. Некоторые из них, отождествляя Метагалактику со всей Вселенной, пытаются доказать, что расширение Метагалактики подтверждает религиозное о сверхъестественном, божественном происхождении Вселенной. Однако во Вселенной известны естественные процессы, которые в прошлом могли вызвать наблюдаемое расширение. По всей вероятности, это взрывы. Их масштабы поражают нас уже при изучении отдельных видов галактик. Можно представить, что расширение Метагалактики

также началось с явления, напоминающего колоссальный взрыв вещества, обладавшего огромной температурой и плотностью.

Так как Вселенная расширяется, естественно думать, что раньше она была меньше и когда-то все пространство было сжато в сверхплотную материальную точку. Это был момент так называемой сингулярности, который уравнениями современной физики описан быть не может. По неизвестным причинам произошел процесс, подобный взрыву, и с тех пор Вселенная начала "расширяться". Процессы, происходящие при этом, объясняются теорией горячей Вселенной.

В 1965 г. американские ученые А. Пензиас и Р. Вильсон нашли экспериментальное доказательство пребывания Вселенной в сверхплотном и горячем состоянии, т. е. реликтовое излучение. Оказалось, что космическое пространство заполнено электромагнитными волнами, являющимися посланцами той древней эпохи развития Вселенной, когда еще не было никаких звезд, галактик, туманностей. Реликтовое излучение пронизывает все пространство, все галактики, оно участвует в расширении Метагалактики. Реликтовое электромагнитное излучение находится в радиодиапазоне с длинами волн от 0,06 см до 60 см. Распределение энергии похоже на спектр абсолютно черного тела температурой 2,7 К. Плотность энергии реликтового излучения равна $4 \cdot 10^{-13}$ эрг/см³, максимум излучения приходится на 1,1 мм. При этом само излучение имеет характер некоторого фона, ибо заполняет все пространство и совершенно изотропно. Оно является свидетелем начального состояния Вселенной.

Очень важно, что, хотя это открытие было сделано случайно при изучении космических радиопомех, существование реликтового излучения было предсказано теоретиками. Одним из первых предсказал это излучение Д. Гамов, разрабатывая теорию происхождения химических элементов, возникших в первые минуты после Большого взрыва. Предсказание существования реликтового излучения и обнаружение его в космическом пространстве — еще один убедительный пример познаваемости мира и его закономерностей.

Во всех развитых динамических космологических моделях утверждается идея о расширении Вселенной из некоторого сверхплотного и сверхгорячего состояния, называемого сингулярным. Американский астрофизик Д. Гамов пришел к концепции Большого взрыва и горячей Вселенной на ранних этапах ее эволюции. Анализ проблем начальной стадии эволюции Вселенной оказался возможным благодаря новым представлениям о природе вакуума. Космологическое решение, полученное В. де Ситтером для вакуума ($\rho \sim e^{Ht}$), показало, что экспоненциальное расширение неустойчиво: оно не может продолжаться неограниченно долго. Через сравнительно малый промежуток времени экспоненциальное расширение прекращается, в вакууме происходит фазовый переход, в процессе которого энергия вакуума переходит в обычное вещество и кинетическую энергию расширения Вселенной. Большой взрыв был 15-20 млрд лет назад.

Согласно стандартной модели горячей Вселенной сверхплотная материя после Большого взрыва начала расширяться и постепенно охлаждаться. По мере расширения произошли фазовые переходы, в результате которых выделились физические силы взаимодействия материальных тел. При экспериментальных значениях таких основных физических параметров, как плотность и температура ($\rho \sim 10^{96} \text{ кг/м}^3$ и $T \sim 10^{32} \text{ К}$), на начальном этапе расширения Вселенной различие между элементарными частицами и четырьмя типами физических взаимодействий практически отсутствует. Оно начинает проявляться когда уменьшается температура и начинается дифференциация материи.

Таким образом, современные представления об истории возникновения нашей Метагалактики основываются на пяти важных экспериментальных наблюдениях:

1. Исследование спектральных линий звезд показывает, что Метагалактика в среднем обладает единым химическим составом. Преобладают водород и гелий.

2. В спектрах элементов далеких галактик обнаруживается систематическое смещение красной части спектра. Величина

этого смещения возрастает по мере удаления галактик от наблюдателя.

3. Измерения радиоволн, приходящих из космоса в сантиметровом и миллиметровом диапазонах, указывают на то, что космическое пространство равномерно и изотропно заполнено слабым радиоизлучением. Спектральная характеристика этого так называемого фонового излучения соответствует излучению абсолютно черного тела при температуре около 2,7 градуса Кельвина.

4. По астрономическим наблюдениям, крупномасштабное распределение галактик соответствует постоянной плотности массы, составляющей, по современным оценкам, по крайней мере 0,3 бариона на каждый кубический метр.

5. Анализ процессов радиоактивного распада в метеоритах показывает, что некоторые из этих компонентов должны были возникнуть от 14 до 24 миллиардов лет назад.

12.2. Начальная стадия Вселенной

*Начало Вселенной — атомы и
пустота, все же остальное
существует лишь во мнении.*

Диоген

Проблема возникновения структурности мира и жизни во Вселенной традиционно трактуется следующим образом: окружающая нас Вселенная обладает определенными физическими свойствами и закономерностями, познаваемыми нами. Как в таком случае происходит эволюция Вселенной, приводящая к достаточно сложным структурам, как зарождается и эволюционирует в такой Вселенной жизнь? От ответа на эти во многом еще не решенные вопросы зависят возможность существования жизни в других областях Вселенной и в другие времена и направления ее поиска.

Любая физическая теория, например уравнение Максвелла в электродинамике, ставит перед собой задачу дать полное физическое описание той или иной системы, если известен

полный набор начальных данных, поскольку в различных физических явлениях начальные данные различны. Но когда мы обращаемся к космологии, которая должна описать свойства одной-единственной системы — нашей Вселенной, вопрос о начальных данных и фундаментальных постоянных неразрывно связан с вопросом: почему Вселенная именно такая, какой мы ее наблюдаем. Прежде чем подойти к ответу на этот вопрос, рассмотрим, какими представляются современному естествознанию начальные условия нашей Вселенной.

Наиболее важным моментом современной стандартной космологической модели Вселенной является вопрос о свойствах ранней Вселенной. Удовлетворительное описание свойств ранней Вселенной дается в модели де Ситтера. Более поздние промежутки эволюции Вселенной даются в модели Фридмана. Переход от одного закона к другому означает радикальное изменение основных свойств Вселенной в этот момент, изменение ее фазового состояния.

Модель экспоненциального роста размеров Вселенной де Ситтера $R \approx \exp(Ht)$ на начальной стадии ее эволюции получила название модели "раздувающейся Вселенной". По этой модели, при $t > 0$ вся энергия мира была заключена в его вакууме. Деситтеровская стадия расширения длилась примерно 10^{-35} с. Все это время Вселенная быстро расширялась, заполняющий ее вакуум как бы растягивался без изменения своих свойств. Образовавшееся состояние Вселенной было крайне неустойчивым, энергетически напряженным. В таких случаях достаточно возникновения малейших неоднородностей, играющих роль случайной затравки, чтобы вызвать переход в другое состояние (в качестве примера можно привести явление кристаллизации). При переходе вакуума в другое состояние мгновенно выделялась колоссальная энергия за счет разности его начального и конечного состояний. Примерно за 10^{-32} с пространство раздулось в громадный раскаленный шар размерами много большими видимой части Вселенной. При этом произошло рождение из вакуума реальных частиц, из которых со временем сформировалось вещество нашей Вселенной.

В последнее время усиленно обсуждаются причины того "первотолчка", который был началом расширений нашей Вселенной. Один из возможных механизмов, основанный на гипотезе о существовании кванта единого пространства-времени, описан в теории инфляционной Вселенной. Рассмотрим ее основные положения и выводы.

А. Эйнштейном была выдвинута идея о существовании космического отталкивания. Если учесть эти силы в уравнениях динамики Вселенной, то полное ускорение оказывается равным $a = a_{\text{тяг}} + a_{\text{отт}}$

Ускорение тяготения $a_{\text{тяг}}$ равно $a_{\text{тяг}} = -GM / R^2$, а ускорение отталкивания $a_{\text{отт}}$ в соответствии с гипотезой Эйнштейна пропорционально R , т. е. $a_{\text{отт}} = \text{const} \cdot R$.

Числовое значение константы в этой формуле можно найти, определив среднюю плотность вещества ρ во Вселенной. В настоящее время считается, что ρ очень близко к 10^{-29} г/см³ и

$$a_{\text{отт}} = \frac{\Lambda \cdot c^2}{3} R,$$

где Λ — космологическая постоянная, равная $\Lambda \approx 10^{-56}$ см⁻².

Рассмотрим случай, когда во Вселенной нет вещества, она "пуста". При этом $M = 0$ и $a_{\text{тяг}} = 0$. Динамика Вселенной описывается ускорением $a_{\text{отт}}$. Можно показать, что при этом две пробные частицы, помещенные в такую пустую Вселенную, будут удаляться друг от друга по экспоненциальному закону

$$R = R_0 \exp\left(\sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct\right).$$

Согласно современным концепциям естествознания, вакуум — не пустота, в физическом вакууме непрерывно происходят процессы рождения и уничтожения виртуальных частиц. Это своеобразное "кипение" вакуума нельзя устранить, ибо оно означало бы нарушение одного из основных законов квантовой физики, а именно, соотношения неопределенностей Гейзенберга. Как показал академик Я. Б. Зельдович в 1967 г., в результате взаимодействия виртуальных частиц в вакууме появляется некоторая плотность энергии и возникает отрицательное давление

Такое вакуумно-подобное состояние неустойчиво и с течением времени оно распадается, превратившись в обычную горячую материю. Энергия вакуумно-подобного состояния перейдет в энергию обычной материи, гравитационное отталкивание сменится обычной гравитацией, замедляющей расширение. С этого момента Вселенная начнет развиваться по известной стандартной космологической горячей модели эволюции. Рассмотрим исходные положения этой модели и ее основные результаты. Горячая модель Вселенной, как и любая другая, исходит из наблюдающегося в настоящее время факта ее расширения и объясняет три достоверно установленных факта — наличие барионной асимметрии Вселенной, космическое отношение числа фотонов к числу барионов, примерно равное 10^9 , и однородность и изотропность реликтового излучения. Теория Большого взрыва в наши дни считается общепринятой. Согласно этой теории, наша Вселенная развивалась из первоначального состояния, которое можно представить в виде сгустка сверхплотной раскаленной материи. Излучение и вещество в нем находились в тепловом равновесии. В этой ранней Вселенной фотоны эффективно взаимодействовали с веществом, число частиц было равно числу античастиц.

В развитии Вселенной принято выделять следующие четыре стадии: адронная эра, лептонная эра, эра излучения и эра вещества. **Адронная эра** продолжалась до $t = 10^{-4}$ с. При этом $\rho > 10^{14}$ г/см³; $T > 10^{12}$ К. Важной особенностью этой стадии является сосуществование вещества (протонов и нейтронов) с антивеществом (антинейтронами и др.). Причем количество частиц в единице объема было того же порядка, что и фотонов. Основной вклад в гравитацию давали тяжелые частицы — адроны. Они аннигилируют с античастицами, остается лишь небольшой избыток нуклонов, который в дальнейшем и определяет свойства нашего мира, т. е. значения его фундаментальных мировых постоянных. Самое начало (т. е. сингулярность) пока недоступно исследованию, так как при этом все главные параметры Вселенной (плотность, температура и т. п.) обращаются в бесконечность.

Далее (до $t = 10$ с) шла **лептонная эра**, на протяжении которой температура уменьшается от 10^{12} К до $5 \cdot 10^9$ К. С уменьшением температуры более эффективными становятся процессы соединения протонов с нейтронами и образованием дейтерия ^2H , трития ^3H и изотопов ^3He и ^4He . Именно в это время и образуется основная часть гелия, содержащегося в звездах и галактиках. На долю гелия приходится около 30%, на долю водорода — около 70%, а на долю остальных химических элементов — менее 1% массы вещества. За счет термоядерных реакций в Галактике может образоваться около 2% гелия по массе. Поэтому основная масса гелия должна была присутствовать в Галактике изначально. По теории горячей Вселенной за первые 100 секунд образуется 25% He и 75% H, что подтверждает и современный химический состав Метагалактики.

Эра излучения продолжалась от 10 с до 10^{13} с, или 1 млн лет. При этом $300 \text{ К} < T < 10^{10} \text{ К}$, $10^{-21} < \rho < 10^4 \text{ г/см}^3$. Основной вклад в гравитационную массу Вселенной давало излучение. В начале эры закончился синтез гелия и продолжались процессы аннигиляции электронов с позитронами. Все это время температура излучения оставалась одинаковой с температурой вещества. Но как только температура уменьшилась до величины $T = 3000 \text{ К}$, энергия фотонов уже недостаточна для ионизации атомов водорода. Поэтому процессы рекомбинации электронов с протонами уже не уравниваются обратными процессами ионизации и происходит "отрыв" излучения от вещества. С этого момента главную роль в расширении Вселенной начинает играть не излучение, а вещество.

Эра вещества начинается с момента рекомбинации и продолжается до сих пор. На ее определенном этапе и начинаются процессы формирования галактик и звезд.

В заключение мы можем констатировать, что гипотеза Большого взрыва позволяет удовлетворительным образом интерпретировать все пять рассмотренных выше экспериментальных фактов. Именно поэтому современные представления о возникновении нашей Метагалактики основаны на изложенной нами модели, хотя многие вопросы все еще остаются открытыми.

12.3. Космологические модели Вселенной

*Если бы вся Вселенная обратилась в
одно государство, то как не
установить повсюду одинаковых
законов.*

Козьма Прутков

Таким образом, сейчас Метагалактика расширяется, а что будет с ней в будущем? Теория А. А. Фридмана допускает здесь различные возможности в зависимости от средней плотности материи во Вселенной. При этом в зависимости от значения средней плотности вещества во Вселенной расширение может происходить неограниченно во времени или же со временем расширение сменится сжатием. Эта зависимость определяется значением критической плотности, рассчитанной из теории Фридмана и равной

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}.$$

Если $\rho > \rho_{\text{кр}}$, то расширение Вселенной со временем сменится сжатием. При этом геометрические свойства пространства определяются сферической геометрией Римана. Эта модель получила название закрытой (замкнутой) модели Вселенной.

Если $\rho = \rho_{\text{кр}}$, то геометрия Вселенной евклидова и расширение будет происходить неограниченно; такая модель получила название стационарной модели Вселенной.

Если $\rho < \rho_{\text{кр}}$, то геометрия Вселенной аналогична геометрии на поверхности Лобачевского, расширение не ограничено во времени. Модели Вселенной с $\rho < \rho_{\text{кр}}$ получили название открытой модели Вселенной.

Внегалактическая астрономия дает среднее значение для постоянной Хаббла, равной $H = 75 \frac{\text{км}}{\text{с Мпк}}$; следовательно, $\rho_{\text{кр}} = 510^{-30} \text{ г/см}^3$.

Подсчеты галактик показывают, что в Метагалактике их около 10^{11} . Если принять, что масса каждой из них такая же, как и у нашей Галактики, то при размере Метагалактики около 600 Мпк средняя плотность вещества в ней $5 \cdot 10^{-31}$ г/см³. Так как это значение плотности на порядок меньше критического, то модель нашей Вселенной описывается геометрией пространства отрицательной кривизны, и наблюдаемое ее расширение будет носить неограниченный характер.

При оценке средней плотности вещества в нашей Вселенной учитывалась только наблюдаемая (излучающая) масса вещества. В настоящее время обсуждается вопрос о существовании невидимой массы, или скрытой массы вещества, которую трудно обнаружить по ее излучению. Эта масса, возможно, сосредоточена в форме маломассивных звезд малой светимости, в черных дырах или в форме нейтрино. Учет этой невидимой массы может увеличить значение средней плотности вещества во Вселенной.

Но является ли теория расширяющейся Вселенной окончательным словом науки, исключаящим любые другие космологические модели? "Моделям однородной Вселенной, — пишут ученые В. А. Амбарцумян и В. В. Казютинский, — противостоит реальная Вселенная, фундаментальным свойством которой является неоднородность распределения вещества. Пренебрегать этим фактом нельзя. Отсюда следует, что модели Вселенной, построенные на столь грубом упрощении, как предположение об однородном распределении вещества, едва ли стоит фетишизировать".

Ни одна частная наука, например астрономия, не знает достоверно, каков мир в целом. Только основываясь на достижениях всех наук, можно по этому вопросу высказывать лишь более или менее правдоподобные предположения. Понятия неисчерпаемости и бесконечности материи меняются с развитием науки. В настоящее время многие ученые склоняются в пользу идеи о множественности миров с разными фундаментальными постоянными и типами пространств и времен.

ВЫВОДЫ

1. Космологическими проблемами вынуждали заниматься возникшие парадоксы — фотометрический, гравитационный и термодинамический, которые были разрешены в модели расширяющейся Вселенной. Расширение Вселенной было установлено Э. Хабблом, сравнивая скорости разбегания, измеренные по красному смещению в спектрах галактик расстояния до них.

2. Эйнштейн при работе над общей теорией относительности не знал о красном смещении в спектрах и расширении Метагалактики, поэтому исходил из идеи о стационарной Вселенной. Уравнения, полученные Эйнштейном, были детально исследованы де Ситтером и Фридманом. Последний нашел три модели развития Вселенной, определяемые средней плотностью вещества в ней.

3. Леметр связал эти модели с данными астрономических наблюдений и пришел к проблеме "начала" из точки, а также первоначальных условий, в которой находилась Вселенная. Эти условия характеризуются наличием высокой температуры и давления в сингулярности, в которой была сосредоточена материя. Их называют Большим взрывом. Такое допущение вполне согласуется с установлением расширения Вселенной, которое могло начаться с некоторого момента, когда она находилась в очень горячем состоянии и постепенно охлаждалась по мере расширения.

4. Гамов разработал модель горячей Вселенной, которую назвал космологией Большого взрыва. Теория получила подтверждение после открытия фонового излучения, которое осталось со времени Большого взрыва и названо реликтовым. Так была опровергнута теория стационарной Вселенной, разрабатываемая Ф. Хойлом.

5. По мере расширения и охлаждения во Вселенной происходили процессы разрушения существовавших раньше симметрий и возникновения на этой основе новых структур.

6. Гут и Линде разработали разные варианты первых долей секунды после "начала", называемые моделями инфляционной, или раздувающейся, Вселенной.

7. Дальнейшее развитие Вселенной разделяют на четыре эры: адронную, лептонную, излучения и вещества. В адронную и лептонную эры, продолжавшуюся 10 с, температура Вселенной после взрыва упала до 6 млрд градусов и образовался основной химический состав вещества Вселенной, состоящий из 75% водорода и 25% гелия. На стадии излучения происходило непрерывное превращение вещества в излучение и, наоборот, излучения в вещество. Вследствие этого между веществом и излучением сохранялась симметрия.

Вопросы для контроля знаний

1. На какую физическую теорию опирается современная космология?
2. Какие этапы в своем развитии прошла эта космология?
3. Что собой представляет стандартная модель Вселенной?
4. Когда по стандартной модели произошел Большой взрыв?
5. Как реликтовое излучение подтверждает стандартную модель?
6. Как связана эволюция Вселенной с разрешением прежних симметрии между физическими взаимодействиями?
7. Расскажите о значении открытий в космологии для формирования научного мировоззрения.
8. Сформулируйте закон Хаббла.
9. Какими наблюдениями подтверждается расширение Вселенной?
10. Охарактеризуйте кратко эволюцию Вселенной.
11. Почему в результате первичного нуклеосинтеза не могли образоваться химические элементы, наблюдаемые в современной Вселенной?
12. Как можно доказать, что все произошло из ничего?
13. На какие экспериментальные данные опирается современная космология?
14. Расскажите вкратце об эволюции Вселенной до возникновения макротел.
15. Чем отличается космология, космогония, астрономия, астрофизика, космонавтика?
16. Как влияют фундаментальные взаимодействия на разные уровни организации материи?
17. Какова природа реликтового излучения?

Глава 13. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ, ЗЕМЛИ

*...Сущность Вселенной не имеет в себе
силы, которая могла бы
противостоять мужеству познания.*

Г. Гегель

13.1. Происхождение и эволюция галактик и звезд

При построении рассмотренной нами выше космологической модели Вселенной принималось, что вещество в ней распределено однородно и изотропно. Имеется в виду среднее по Метагалактике распределение вещества. В действительности в настоящее время значительная масса вещества сконцентрирована в форме галактик и скоплений галактик. Возникают следующие вопросы: какие причины приводят к фрагментации первоначально однородно распределенного, расширяющегося вещества Вселенной и почему наиболее существенные свойства галактик — их формы, размеры и массы — именно таковы?

Впервые вопрос о фрагментации однородно распределенного вещества рассмотрел английский ученый Дж. Джинс в 1902 г. Он исходил из того, что если в однородной среде возникает по каким-либо причинам сгущение — неоднородность с размерами g , то она может либо продолжать уплотняться (расти) под действием собственного тяготения, либо рассасываться (затухать) под действием газового давления. Направление протекания процесса зависит от того, будет ли размер сгущения больше или меньше критического. Критический размер легко оценить, если

приравнять газовое давление в сгустке $P_r = \frac{\rho}{M} RT_k$, давлению

силы тяжести $P_g = \frac{Gm^2}{r^4}$

Из этого условия следует, что размер сгущения определяется следующим соотношением:

$$r = \sqrt{\frac{RT}{Gm\rho}}$$

Сгущения определенной массы могут формироваться лишь при определенных соотношениях между величинами T и ρ . Если, например, плотность догалактического вещества $\rho \approx 10^{-24}$ г/см³ (это средняя плотность Галактики), то сгущение массой $m \approx 10^{11} m_\odot$ может образоваться лишь в случае, если температура $T \approx 10^6$ К. При меньшей температуре образуются сгущения меньшей массы.

Наряду с массой важнейшей характеристикой галактики является мера ее осевого вращения — вращательный момент на единицу массы. Мера вращения у эллиптических галактик гораздо меньше, чем у спиральных галактик. Очень медленное вращение эллиптических галактик не может объяснить их наблюдаемую эллиптичность, т. е. сплюснутость, подобно, например, тому, как действием центробежной силы можно объяснить сплюснутость земного шара у полюсов. По-видимому, сплюснутость эллиптических галактик объясняется самим характером звездных движений в таких галактиках. В противоположность этому влияние центробежной силы у сравнительно быстро вращающихся рукавов спиральных галактик весьма существенно. Есть среди части ученых мнение, что различия между эллиптическими и спиральными галактиками не являются эволюционным эффектом. Другими словами, галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические, и в процессе эволюции тип галактики сохраняется. Структура галактики определяется начальными условиями ее образования, например характером вращения того сгустка газа, из которого она образовалась.

В настоящее время имеются уже довольно хорошо разработанные модели превращения огромного облака газа, сжимающегося в результате действия закона всемирного тяготения сперва в протогалактику, а потом в галактику. В самом начале следует представить себе огромный газовый шар, сжимающийся по закону свободного падения к центру. Первоначальная температура этого газа могла быть достаточно высокой, быстро уменьшалась, причем из-за гравитационной неустойчивости образовывались больших размеров сгущения, эволюционировавшие в облака. Благодаря беспорядочным движениям, эти облака сталкивались, что вело к их дальнейшему уплотнению. На этом довольно раннем этапе из облаков стали образовываться звезды "первого поколения", состоящие в основном из водорода и гелия. Наиболее массивные из них успевали проэволюционировать задолго до того, как прекратилось сжатие протогалактик. Взрываясь как сверхновые, они обогащали межзвездную среду металлами. По этой причине звезды следующих поколений имели уже другой химический состав. Это привело, например, к тому, что звезды вблизи центра эллиптических галактик более богаты тяжелыми элементами, чем находящиеся на периферии, что как раз и наблюдается.

В спиральных протогалактиках звездообразование шло медленнее. Поэтому в них смог образоваться газовый диск довольно значительной массы. Этому способствовало также довольно быстрое вращение спиральных протогалактик, препятствующее оттоку всего газа в область ядра и превращению его там в звезды. Другими словами, вращение протогалактик уменьшает скорость звездообразования.

Таким образом, разные типы галактик происходят от прото-облаков с разными плотностями и разным разбросом скоростей внутренних движений. В частности, эллиптические галактики образовались из более плотных облаков газа, находящегося в состоянии довольно быстрого беспорядочного движения. В "бедных" разреженных скоплениях наблюдаются преимущественно спиральные галактики. Возраст галактик практически равен возрасту Вселенной.

Звезды могут образовываться в результате гравитационного сжатия неоднородностей в межзвездной среде. Межзвездная среда распределена очень неоднородно, она имеет клочковатую структуру. В некоторой области среды выполняется критерий Джинса и эти комплексы являются гравитационно неустойчивыми, они должны сжиматься. По мере сжатия критерий гравитационной неустойчивости Джинса начинает выполняться для неоднородностей внутри облака с меньшими массами, вплоть до солнечной. Массивное газопылевое облако начинает дробиться на менее массивные части, которые, сжимаясь, дают начало звездам.

Для того чтобы образовавшаяся неоднородность массой, равной массе звезды, — протозвезда — могла сжиматься дальше, необходимо, чтобы по мере сжатия из нее отводилось тепло, выделившееся при сжатии. Таким механизмом отвода тепла является инфракрасное излучение пыли и молекул межзвездного газа. Значит, протозвезды являются мощными источниками инфракрасного излучения. По мере того как протозвезда сжимается, плотность ее растет, растет ее непрозрачность к инфракрасному излучению.

Дальнейшее, более медленное сжатие происходит до тех пор, пока температура внутри звезды не повысится настолько, что становятся возможными термоядерные реакции синтеза гелия из водорода. Расчеты показывают, что сжатие протосолнца от радиуса $R = 10R_0$ до $R = 1R_0$ продолжалось около 20 млн лет. Более массивные протозвезды эволюционируют быстрее, менее массивные — медленнее.

Стабильное по излучению и свойствам состояние звезды продолжается до тех пор, пока в ее недрах не исчерпается ядерное горючее — водород. Ясно, что массивные звезды благодаря своей высокой светимости исчерпают свой водород быстрее, чем менее массивные.

По мере истощения водорода в центре звезды коэффициент непрозрачности вещества непрерывно уменьшается. Это приводит к непрерывной перестройке звезды, сопровождающейся сжатием ее ядра и ростом протяженности оболочки. Ядерные реакции синтеза гелия из водорода идут в узком слое, непосредственно окружающем ядро. По мере выгорания водорода в

слоевом источнике масса гелиевого ядра постепенно увеличивается. Это приводит к увеличению силы тяжести, дальнейшему сжатию ядра и увеличению его температуры. При этом растет светимость звезды. Энергия не успевает переноситься наружу излучением, наступает конвенция. Сжатие ядра и повышение температуры происходит до тех пор, пока в нем не начнутся термоядерные реакции синтеза более тяжелых химических элементов. Например, при температуре в сотни миллионов градусов происходит синтез ядер атома углерода при слиянии трех ядер атома гелия, а затем при еще более высоких температурах образуются кислород, неон и т. д. При этом выделяется большое количество энергии, способное остановить сжатие ядра. Реакции синтеза идут с выделением энергии вплоть до образования ядер атомов железа. Образование более тяжелых химических элементов требует затраты энергии и приводит к охлаждению звезды. После выгорания водорода в ядре звезда становится красным гигантом или сверхгигантом в зависимости от массы звезды.

Если масса звезды меньше 1,2 массы Солнца, то после исчерпания водорода в ядре оно начнет сжиматься. Сжатие ядра останавливается давлением вырожденного электронного газа, т. е. ядро звезды представляет собой звезду — белый карлик. В то же время оболочка звезды увеличивается в размерах до 10-100 радиусов Солнца, так что сама становится красным гигантом. Довольно быстро оболочка вообще отделяется от ядра и на месте звезды остается ядро — звезда белый карлик и расширяющаяся оболочка, т. е. феномен планетарной туманности. Затем за несколько тысяч лет расширяющаяся оболочка рассеивается в межзвездной среде, а белый карлик еще в течение сотен миллионов лет высвечивает тепловую энергию, запасенную им при сжатии.

Такая судьба ожидает и наше Солнце через 5 млрд лет. Структура его определяется давлением вырожденного электронного газа, а перенос энергии из центра определяется теплопроводностью.

Если же первоначальная масса ядра звезды превосходит 1,2 раза массы Солнца, но была меньше 2,4 массы Солнца, то в ней после исчерпания ядерного горючего происходит катастрофа в

виде вспышки сверхновой. Сила тяжести настолько велика, что даже давление вырожденного электронного газа не в состоянии ей противодействовать. Поэтому по мере сжатия ядра здесь происходит распад ядер тяжелых элементов на более простые и превращение всех частиц в нейтроны. Протоны, которые входят в состав атомных ядер, образовавшихся на предыдущей стадии эволюции звезды, в конце концов превращаются в нейтроны. При больших плотностях (10^9 кг/м³) из-за принципа запрета Паули в нейтронном газе будет также действовать специфическая сила отталкивания, и равновесие поддерживается давлением нейтронного газа. Подтверждением наличия нейтронных звезд во Вселенной являются пульсары (пульсирующие звезды, обнаруженные в 1967 г.).

Если масса ядра звезды превосходит 2,5-3 масс Солнца, то ее неограниченное сжатие под давлением силы гравитации уже ничем не остановить. Она превращается в черную дыру. Скорость, необходимая для удаления с этой звезды, становится больше скорости света. Основываясь на законе всемирного тяготения и конечности скорости распространения света, возможность существования черных дыр предсказал еще в XVIII в. Лаплас. Звезда массой, равной солнечной, при обращении в черную дыру имела бы радиус 3 км. Теоретические оценки показывают, что число черных дыр в Галактике может достигать сотен миллионов. Черную дыру можно обнаружить, если она является компонентом двойной звезды — она может быть мощным источником рентгеновского излучения. Примером такого источника можно назвать мощный рентгеновский источник Лебедь X-1.

Название "черная дыра" связано с тем, что могучее поле тяготения сжавшейся звезды не выпускает за ее пределы никакое излучение (свет, рентгеновское излучение и т. д.). Поэтому черную дыру нельзя увидеть ни в каком диапазоне электромагнитных волн. В случае тесной двойной звезды гравитационное воздействие черной дыры притягивает газ с поверхности обычной звезды, образуя диск вокруг нее. Температура газа в этом вращающемся диске может достичь 10^7 К. При температуре в миллионы Кельвинов газ будет излучать в рентгеновском диа-

пазоне. И по нему можно определить наличие в данном месте черной дыры.

С эволюцией звезд тесно связан вопрос о происхождении химических элементов. Если водород и гелий являются элементами, которые остались от ранних стадий эволюции расширяющейся Вселенной, то более тяжелые химические элементы могли образоваться только в недрах звезд при термоядерных реакциях. Внутри звезд в ходе термоядерных реакций может образоваться до 30 химических элементов.

В конце эволюции в зависимости от массы звезда либо взрывается, либо сбрасывает более спокойно вещество, уже обогащенное тяжелыми элементами. При этом образуются остальные элементы периодической системы. Из обогащенной тяжелыми элементами межзвездной среды образуются звезды следующих поколений. Например, Солнце — звезда второго поколения, образовавшаяся из вещества, уже однажды побывавшего в недрах звезд и обогащенного тяжелыми элементами. Вот почему о возрасте звезд можно судить по их химическому составу, определенному методом спектрального анализа.

Дальнейшее развитие науки покажет, какие из сегодняшних представлений о происхождении галактик и звезд окажутся правильными. Но уже теперь нет сомнения в том, что звезды, во-первых, подчиняясь законам природы, рождаются, живут и умирают, а не есть однажды созданные и вечно неизменные объекты Вселенной, и, во-вторых, звезды рождаются группами, причем процесс звездообразования продолжается в настоящее время.

13.2. Происхождение планет Солнечной системы

*Все у нас, Луций, чужое, одно лишь
время наше. Только время
ускользающее и текучее дала нам во
владенье природа, но и его кто хочет,
тот и отнимет.*

Сенека

Для изучения вопросов происхождения небесных тел важным является определение их возраста. Определение возраста

земной коры основано на исследовании содержания в ней радиоактивных элементов (урана, тория и др.), а также радиоактивных изотопов таких элементов, как калий, аргон и др. Как известно, радиоактивные элементы непрерывно распадаются, причем процесс распада совершенно не зависит от внешних воздействий. При радиоактивном распаде образуются изотопы соседних элементов периодической системы Менделеева. Эти изотопы сами нередко оказываются радиоактивными, а значит, и они распадаются. Распад заканчивается, когда атомы радиоактивных элементов превращаются в нерадиоактивные атомы химических элементов и их изотопы. Например, распад урана (^{238}U) завершается образованием нерадиоактивного изотопа свинца (^{206}Pb). Промежуток времени (T), по истечении которого остается половина начального количества радиоактивных атомов, характеризуется скоростью распада и называется периодом полураспада. Для определения возраста земной коры используются медленно распадающиеся изотопы, например урана ($T \approx 4,5 \cdot 10^9$ лет), радиоактивный изотоп калия ^{40}K ($T \approx 1,3 \cdot 10^9$ лет) и др. Чтобы определить возраст земной коры, сравнивают содержание радиоактивных элементов и продуктов их распада в многочисленных пробах, взятых для анализа. Такое сравнение показывает, что возраст земной коры около 4,5 млрд лет. Примерно таков же возраст Земли как оформившейся планеты. К 3,5-4,5 млрд лет близок возраст лунных пород и метеоритов. Солнце, конечно, не может быть моложе Земли и Луны. Скорее всего возраст Солнца (желтой звезды) — 5 млрд лет. Сопоставление возраста Солнечной системы с возрастом Метагалактики (будем считать его равным 15 млрд лет) показывает, что Солнце нельзя отнести к звездам "первого поколения". Скорее всего в состав его и планет вошел газ, уже побывавший в недрах более старых звезд. На ранних стадиях расширения Метагалактики, как вы уже знаете, вообще не было тяжелых химических элементов, которые впоследствии стали центрами конденсации твердых частиц, необходимых для формирования планет.

Кроме этого факта гипотеза, объясняющая происхождение, развитие Солнечной системы, должна дать ответы и объяснить

следующие основные закономерности, наблюдаемые в строении, движении, свойствах Солнечной системы:

1. Орбиты всех планет (кроме орбиты Плутона) лежат практически в одной плоскости, почти совпадающей с плоскостью солнечного экватора.

2. Все планеты обращаются вокруг Солнца по почти круговым орбитам в одном и том же направлении, совпадающем с направлением вращения Солнца вокруг своей оси.

3. Направление осевого вращения планет (за исключением Венеры и Урана) совпадает с направлением их обращения вокруг Солнца.

4. Средние расстояния планет от Солнца (за исключением Нептуна и Плутона) подчиняются определенному закону (правилу Тициуса—Воде).

5. Суммарная масса планет в 750 раз меньше массы Солнца (почти 99,9% массы Солнечной системы приходится на долю Солнца), однако на их долю приходится 98% суммарного момента количества движения всей Солнечной системы.

6. Планеты делятся на две группы, резко различающиеся между собой по строению, физическим свойствам, — планеты земной группы и планеты-гиганты.

7. Подавляющее число спутников обращается вокруг планет практически по круговым орбитам, лежащим в большинстве случаев в плоскости экватора планеты, причем (за несколькими исключениями) направление этого движения совпадает с направлением осевого вращения планет.

История науки знает множество гипотез о происхождении Солнечной системы. Причем эти гипотезы появились значительно раньше, чем стали известны многие важные закономерности Солнечной системы. Значение первых космогонических гипотез состояло прежде всего в том, что они пытались объяснить происхождение небесных тел как результат естественного процесса, а не одновременного акта божественного творения. Кроме этого, некоторые ранние гипотезы содержали правильные идеи о происхождении небесных тел.

Немецкий философ И. Кант в своей книге "Всеобщая естественная история и теория неба" (1755 г.) развил гипотезу, согласно которой в начале мировое пространство было заполнено материей, находившейся в состоянии первозданного хаоса. Под действием двух сил—притяжения и отталкивания—материя со временем переходила в более разнообразные формы. Элементы, имеющие большую плотность, по закону всемирного тяготения притягивали менее плотные, вследствие этого образовались отдельные сгустки материи. Под действием же сил отталкивания (которые якобы особенно эффективны, когда вещество находится в распыленном состоянии) прямолинейное движение частиц к центру тяготения заменялось кругообразным. Вследствие столкновения частиц вокруг отдельных сгустков и формировались планетные системы. Все это представлялось Канту настолько очевидным, что он не удержался от замечания, ставшего как бы символом естествознания: "Дайте мне материю, и я построю из нее мир, т. е. дайте мне материю, и я покажу всем, как из нее должен образоваться мир..."

Совершенно другая гипотеза о происхождении планет была изложена в книге П. Лапласа "Изложение системы мира" (1769 г.). По Лапласу, на ранней стадии своего развития Солнце представляло собой огромную, медленно вращающуюся туманность. Под действием силы тяжести протосолнце сжималось, поэтому оно принимало сплюснутую форму. И как только на экваторе сила тяжести уравнивалась центробежной силой инерции, от протосолнца отделялось гигантское кольцо, которое в дальнейшем охлаждалось и разрывалось на отдельные сгустки. Из них и формировались планеты. Такой отрыв колец от протосолнца, по Лапласу, происходил несколько раз. Аналогичным путем образовались и спутники планет. Гипотеза Лапласа, бывшая весьма популярной на протяжении почти ста лет, оказывалась не в состоянии объяснить перераспределение момента количества движения между Солнцем и планетами. Расчет показывает, что если бы все планеты упали на Солнце (т. е. вернули ему потерянный им момент количества движения), то скорость его вращения была бы недостаточной для того, чтобы могло проис-

ходить отделение колец. Кроме того, для этой и других гипотез, по которым планеты и их спутники образуются из горячего газа, камнем преткновения является еще следующее: из горячего газа планета сформироваться не может, так как этот газ очень быстро расширяется и рассеивается в пространстве.

В 20-е годы XX в. английский астроном Д. Джинс разработал приливную теорию происхождения Солнечной системы. По этой теории в результате случайного сближения Солнца с какой-то звездой на Солнце образовалась гигантская приливная волна, приведшая к тому, что из двух противоположных точек его поверхности началось мощное извержение струй газа. Эти газовые массы очень быстро сгущались в облака, в которых росли планетезимали — небольшие твердые тела, из которых в дальнейшем сформировались планеты.

В 30-х годах было высказано предположение (Г. Рессел), что в прошлом Солнце было двойной звездой. Один из компонентов был разорван встречной звездой и образовал облако, из которого позже сформировались планеты. В дальнейшем эту гипотезу видоизменили (Ф. Хойл в 1944 г.). Было выдвинуто предположение, что один из компонентов вспыхнул как сверхновая, сбросил газовую оболочку. Звезды разошлись, а из газовой оболочки образовалась планетная система.

Большую роль в разработке установившихся в настоящее время взглядов на происхождение планетной системы сыграли работы нашего соотечественника О. Ю. Шмидта. В основе теории О. Ю. Шмидта лежат два предположения: планеты сформировались из холодного газопылевого облака; это облако было захвачено Солнцем при его обращении вокруг центра Галактики. На основе этих предположений Шмидту удалось объяснить некоторые закономерности в строении Солнечной системы — распределение планет по расстояниям от Солнца, вращение и др. Гипотез было много, но если каждая из них хорошо объясняла часть исследований, то другую часть не объясняла (рис. 13.1).

При разработке космогонической гипотезы прежде всего необходимо решить вопрос: откуда взялось вещество, из кото-



Рис. 13.1. Образование планет по гипотезе О. Ю. Шмидта

рого со временем сформировались планеты? Здесь возможны три варианта:

1. Планеты образуются из того же газопылевого облака, что и Солнце (И. Кант).

2. Облако, из которого образовались планеты, захвачено Солнцем при его обращении вокруг центра Галактики (О. Ю. Шмидт).

3. Это облако отделилось от Солнца в процессе его эволюции (П. Лаплас, Д. Джинс и др.).

Общую схему развития нашей планетной системы можно описать следующим образом.

Около 5 млрд лет назад в протяженном газопылевом облаке, пронизанном магнитными силовыми линиями, образовалось центральное сгущение — протосолнце, которое медленно сжималось. Другая часть облака, массой в 10 раз меньшей, медленно вращалась вокруг него. В результате столкновения атомов, молекул и пылинок туманность постепенно сплющивалась и разогревалась. Так вокруг Солнца образовался протяженный газопылевой диск. Его магнитное поле, "наматываясь" на про-

тосолнце, способствовало передаче момента внешним слоям диска.

По одному из вариантов эволюции протопланетного облака, рассмотренному В. С. Сафроновым, вначале в этом облаке произошло деление компонентов — газа и пыли. Оседание пыли к центральной плоскости произошло примерно за 1000 оборотов облака вокруг Солнца. Одновременно протекал процесс роста пылинок до к 1 см.

Под действием светового давления легкие химические элементы водород и гелий "выметались" из близких окрестностей Солнца. И, наоборот, попадая на пылинки, световые лучи тормозили их движение вокруг Солнца. При этом пылевые частицы теряли свой орбитальный момент количества движения и приближались к Солнцу. Этот механизм торможения "работает" даже в случае, если размеры частицы достигают нескольких метров. В конечном итоге это и привело к существенному различию в химическом составе планет, их разделению на две группы. Таким образом, вблизи экваториальной плоскости Солнца образовался слой пыли повышенной плотности. Как только плотность этого слоя достигла критического значения, в нем возникла гравитационная неустойчивость. Вначале образовались кольца, которые быстро распались на отдельные сгущения. Их исходные размеры и массы на расстоянии в одну астрономическую единицу от Солнца достигали 40 км и $5 \cdot 10^{13}$ кг, а на расстоянии Юпитера — соответственно 10^5 км и 10^{19} кг. За счет собственной тяжести происходило дальнейшее сжатие сгустков, их уплотнение, рост больших и разрушение малых. Превращение сгущенной пыли в отдельные твердые тела продолжалось всего 10 000 лет на расстоянии в 1 а.е. и около 1 млн лет на расстоянии Юпитера от Солнца.

Далее в результате взаимных столкновений происходило слипание отдельных пылинок и образование твердых тел. Расчеты показывают, что эффективность взаимных столкновений пропорциональна четвертой степени радиуса сгущения (планетезимали). Это привело к быстрому росту размеров наибольших из них. В результате столкновений их орбиты приближались

к круговым, а сами они превращались в зародыши планет. Со временем выживали лишь те из них, орбиты которых с учетом их взаимного притяжения оказались устойчивыми.

Подобно планетам земной группы, формировались зародыши планет-гигантов — Юпитера и Сатурна, хотя время их конденсации было в несколько раз большим. В данном случае, как только масса протопланеты достигала величины двух-трех масс Земли, начиналась интенсивная аккреция газа, входящего в протопланетное облако.

Чтобы согласовать расчеты с наблюдениями, приходится ввести допущение, что в процессе роста планет-гигантов значительное количество твердого вещества было выброшено из Солнечной системы. Это привело к образованию на ее периферии облака комет, которое частично сохранилось и до наших дней.

Направление и скорость вращения планеты вокруг своей оси устанавливаются статистически как суммарный результат объединения многих планетезималей и выпадения на зародыш планеты тел из "спутникового роя", окружающего каждую планету на раннем этапе ее формирования. Как оказалось, по наклону оси вращения планеты к плоскости эклиптики можно оценить массу самых больших тел, выпадавших на планету. В частности, для нашей планеты эти массы не превышали 0,001 массы Земли. То, что ось вращения Урана наклонена к плоскости ее орбиты под углом 98° , связано с влиянием Юпитера и Сатурна. Как только массы этих планет возросли до двух-трех масс Земли, они своим притяжением вносили возмущения в движение других планетезималей, придавая им большие скорости, достаточные для того, чтобы вылетать за пределы Солнечной системы. Случайное столкновение этих тел с протоураном и привело к упомянутой аномалии в его вращении вокруг своей оси. Массы наибольших тел, выпадавших на Уран, достигали величины 0,07 массы этой планеты.

Зародыши планет-гигантов не только препятствовали формированию планеты в зоне астероидов между Марсом и Юпитером, но привели и к значительному уменьшению конечной массы планеты Уран.

Несмотря на сходство образования и состава исходного материала планет земной группы, в настоящий момент заметно различие в достигнутом уровне развития планет. На других планетах отсутствуют не только признаки жизни, но даже такие химические соединения, которые в ходе дальнейшей эволюции могли бы привести к появлению примитивных органических форм. Земля же обладает богатым, в высшей степени развитым органическим миром.

Сравнение физических характеристик планет земной группы позволило выявить ряд общих закономерностей их происхождения и последующей эволюции. В раннюю историю своего существования все планеты, как Земля, пережили три общие для них фазы развития:

1) фазу аккреции; 2) фазу расплавления внешней среды (а возможно, и недр) и 3) лунную фазу (стадию первичной коры). Совокупность этих фаз составляет раннюю историю планет. В раннюю историю Земля в своем развитии не отличалась от других планет. Во все последующее время до современной эпохи включительно, т. е. на протяжении 3,5-4,0 млрд лет, все планеты, за исключением Земли, развивались более или менее однотипно, хотя степень активности как внутренних, так и внешних планетных процессов была разной. Чем большую массу имеет планета, тем большее количество радиогенной и гравитационной энергии образуется в ее недрах. Соответственно и более активно протекают у планеты эндогенные процессы — вулканизм и тектонические движения. У небесных тел (Луны и Меркурия) вулканизм прекратился уже более 3 млрд лет назад. На Марсе он до недавнего времени был весьма активным. На Венере (по косвенным данным) и на Земле интенсивный вулканизм продолжался на протяжении всей их истории, вплоть до настоящего времени.

К числу общих закономерностей развития планет земной группы относятся следующие:

1. Все планеты произошли из единого протопланетного газопылевого облака (туманности) в результате его конденсации и аккреции образовавшихся сгустков материала и рассеянного

вещества. Более крупные скопления росли быстрее за счет присоединения к себе меньших агрегатов и рассеянного материала и превращались в зародыши планет — планетезимали.

2. В конце стадии аккреции, т. е. приблизительно 4,5 млрд лет назад, под влиянием быстрого накопления тепловой энергии за счет трансформированной метеоритной кинетической энергии внешняя оболочка планет претерпела полное расплавление.

3. В результате последующего остывания внешних слоев литосферы образовалась кора. В ее состав вошли более легкие компоненты основной магмы. Более тяжелые, благодаря гравитационной дифференциации, сконцентрировались ниже коры, образовав мантию планеты. На этот же период приходится расплавление и центральной области планеты за счет накопления радиогенной и гравитационной энергии. Таким образом, на раннем этапе существования планет произошла дифференциация их вещества на ядро, мантию и кору.

4. Индивидуально происходило развитие внешней области планет. Формирование природной обстановки происходило и происходит под влиянием климатического фактора, но степень его полноты весьма неодинаковая на разных планетах, а отсюда и неодинаков эффект его действия. Важнейшим условием здесь является наличие или отсутствие у планеты атмосферы и гидросферы. Причем определяющим следует признать не сам факт их наличия или отсутствия, а определенное сочетание их параметров. Для атмосферы это будут химический состав, плотность, температурный режим, циркуляция и т. д.; для гидросферы — общая масса воды и ее фазовое состояние — твердое, жидкое или газообразное. Из них наибольшей активностью обладает вода в жидкой фазе.

5. Вследствие полного отсутствия воды на безатмосферных Луне и Меркурии или наличия ее в малом количестве и не в жидкой фазе на Марсе и Венере на этих планетах экзогенные процессы не могут подавить морфологический эффект метеоритной бомбардировки, поэтому кратерный тип рельефа безраздельно господствует на Луне, Меркурии, Венере и преобладает на Марсе. Марс в прошлом имел более теплый и влажный климат,

жидкую воду и относительно высокую активность экзогенных процессов, действие которых выразилось в существенной переработке первичного рельефа ударных кратеров.

6. С циркуляцией воды во внешней оболочке Земли связано функционирование на нашей планете мощного комплекса экзогенных процессов, оказывающих огромное влияние на другие компоненты — литосферу, органический мир, вовлечение их в глобальные круговороты.

13.3. Происхождение и эволюция Земли

Человек познает сам себя только в той мере, в какой он познает мир.

И. Гете

Время существования Земли делится на два существенно различных периода: ранняя история и геологическая история.

I. Ранняя история Земли разделяется на три фазы эволюции: фазу рождения, фазу расплавления внешней сферы и фазу первичной коры (лунную фазу). Охарактеризуем их кратко.

Фаза рождения продолжалась 100 млн лет. При этом на растущую Землю падало большое количество крупных тел. Вместе с крупными телами на Землю падали и самые крупные объекты — планетезимали, зародыши "неудавшихся" планет. Их поперечники измерялись многими километрами и даже первыми десятками километров. В фазу рождения Земля приобрела приблизительно 95% современной массы.

Фаза расплавления датируется 4,6-4,2 млрд лет назад (длительность 0,4 млрд лет). Во время аккреции Земля долго оставалась холодным космическим телом, и только в конце этой фазы, когда началась предельно интенсивная бомбардировка ее крупными объектами, произошло сильное разогревание, а затем полное расплавление вещества сначала внешней зоны планеты, потом и внутренней области. Наступила продолжительная фаза гравитационной дифференциации вещества: тяжелые химические элементы и их соединения опускались

вниз, легкие поднимались вверх. Поэтому постепенно в процессе дифференциации вещества в центре Земли сосредоточивались тяжелые химические элементы (железо, никель и др.), из которых образовалось ядро, из более легких соединений возникла мантия Земли. Кремний и другие химические элементы стали основой формирования континентов, а самые легкие химические соединения образовали океаны и атмосферу Земли. В земной атмосфере первоначально было много водорода, гелия и таких водородосодержащих соединений, как метан, аммиак, водяной пар. Со временем водород и гелий улетучились.

Лунная фаза продолжалась 400 млн лет от 4,2 до 3,8 млрд лет назад. При этом остывание расплавленного вещества внешней сферы Земли привело к образованию тонкой первичной коры базальтового состава. В это же время происходило формирование гранитного слоя материковой коры. Континенты сложены в основном гранитами и гнейсами, т. е. горными породами, содержащими 65-70% кремнезема SiO_2 и значительное количество щелочей — калия и натрия. Между тем ложе океанов выстилается базальтами — породами, содержащими 45-50% SiO_2 и богатыми магнием и железом. Таким образом, континенты оказываются построенными менее плотным, более легким материалом, чем дно океанов. К тому же кора континентов намного толще (в среднем 35-40 км), чем кора океанов (5-7 км). Благодаря этому континенты минимум на 5-6 км возвышаются над ложем океанов. На некоторой глубине, где в верхней мантии находится пластичный слой (так называемая астеносфера), легкие, но толстые континентальные глыбы и тяжелые, но тонкие океанские плиты должны уравнивать друг друга (закон изостазии, равновесия). Поэтому, главным фактором формирования рельефа земной поверхности является взаимодействие движущихся в горизонтальном направлении литосферных плит. В зонах разлома плит, проходящих в океанах, происходит образование срединно-океанских хребтов.

Из-за широкого распространения метеорных кратеро фаза существования ранней коры называется лунной фазой В лунную фазу существования Земля постепенно охлаждалас

от температуры плавления базальтов (1000-800 °C) до 100 °C. С преодолением температурного рубежа +100 °C связано все последующее преобразование природной среды и эволюция земной коры.

II. Геологическая история — это принципиально новый период развития Земли как планеты в целом, так и особенно ее коры и природной среды. После охлаждения земной поверхности до температуры ниже 100 °C на ней образовалась огромная масса жидкой воды, которая представляла собой не простое скопление неподвижных вод, а находящихся в активном глобальном круговороте. В структурном отношении круговорот распадался на звенья: атмосферное (испарение, перенос влаги, осадки), литосферное (поверхностные и подземные стоки), океаническое. В процессе круговорота происходит поглощение солнечной энергии и распределение ее по земной поверхности.

Глобальная эволюция Земли происходила под влиянием факторов — космического, эндогенного и экзогенного. К эндогенной энергии относится гравитационная энергия. Земля обладает наибольшей массой из планет земной группы и поэтому имеет наибольшую внутреннюю энергию — радиогенную, гравитационную и др.

В экзогенном факторе необычайную активность проявила вода, находившаяся раньше в виде пара в атмосфере. Земля стала тем космическим телом, которое оказалось неблагоприятным для длительного сохранения ударных кратеров вследствие высокой активности действующих на ней экзогенных процессов разрушения.

За счет парникового эффекта температура поверхности повышается на 38°; вместо 250 K (-23 °C) стало 288 K (+15 °C). Если бы этого не произошло, то в природной среде жидкой воды было бы не 95% общего количества в гидросфере, а во много раз меньше. Мощность потока солнечной радиации у верхней границы земной атмосферы (солнечная постоянная) составляет 1,95 (кал/см²) мин, что в годовом исчислении выражается в 1000 (ккал/см²) год. В связи же с шарообразностью Земли, а следовательно, с учетом неосвещенной Солнцем стороны планеты, а

также тех пространств земной поверхности, где солнечные лучи падают под острым углом, средняя мощность потока солнечной радиации оказывается равной приблизительно $250 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$. При альбедо (коэффициент отражения света) Земли $0,33-0,35$ в земную атмосферу вступает энергетический поток напряженностью лишь $167 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$. Часть этой энергии поглощается атмосферой, и лишь $79 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$ задерживается земной поверхностью, трансформируется ею и работает, т. е. возбуждает и поддерживает течение экзогенных процессов.

Поглощаемая земной поверхностью солнечная радиация $79 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$ используется следующим образом: $66 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$ идет на испарение; $11 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$ — на турбулентный теплообмен тропосферного воздуха; $1 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$ — на биологические процессы и химические превращения минералов коры выветривания. Мощность теплового потока из недр Земли на континентах $0,033 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$. Таким образом, земная поверхность использует на природные процессы солнечную радиацию в количестве $79 \text{ (ккал/см}^2\text{) год}$, т. е. в 2182 раза больше, чем тепловой поток Земли.

Поэтому глобальный процесс формирования географической оболочки и ее функционирования возможен только на основе солнечной радиации с учетом потенциальной энергии силы тяжести масс горных пород. Солнце снабжает Землю теплом, необходимым для поддержания ее температуры в подходящем диапазоне, охватывающем всего около 100° , не нагревая ее чрезмерно. Следует, однако, иметь в виду, что небольшое изменение всего лишь на несколько процентов количества тепла, получаемого Землей от Солнца, приведет к сильным изменениям земного климата. Земная атмосфера играет чрезвычайно важную роль в поддержании температуры в допустимых пределах. Она действует как одеяло, не допуская слишком сильного повышения температуры днем и чрезмерного понижения температуры ночью.

Эволюция атмосферы. В фазу расплавления огромные массы выделявшихся газов образовали первичную атмосферу Земли. Основными компонентами выделявшихся из недр Земли

газов были углекислый газ и водяной пар, что аналогично составу летучих компонентов при современных вулканических извержениях ($\approx 80\%$ вода, $\approx 10\%$ углекислый газ). После охлаждения земной поверхности до температуры ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ произошел переход атмосферного водяного пара в жидкую воду. Так как углекислый газ легко растворяется в воде, то преобладающая его часть была поглощена водой. В настоящее время в океанических водах в 60 раз больше углекислого газа, чем его имеется в атмосфере. Воздушная среда не только утратила почти всю воду, находившуюся в ней в виде пара, но в ней осталось мало и CO_2 . Во много раз уменьшилось и ее давление. Дальнейшая эволюция атмосферы связана главным образом с появлением и развитием органического мира, прежде всего растительного. Атмосфера предохраняет нас не только от огромных колебаний температур. Это неоценимая защита от метеорных тел, непрерывно бомбардирующих Землю из межпланетного пространства. Метеорные тела сталкиваются с Землей со скоростью до 72 км/с . Сила удара метеоритной частицы массой всего $0,001\text{ г}$, несущейся с такой скоростью, такая же, как пули пистолета 45 калибра при выстреле в упор. Хотя размеры частицы не больше пылинки и меньше средней песчинки, она все же опасна для человека. Ежедневно в земную атмосферу вторгаются миллиарды частиц, создавая слабые метеоры, которые можно видеть только в телескоп. Слабейшие метеоры, видимые невооруженным глазом, в несколько раз крупнее. Большинство этих тел быстро испаряется в атмосфере из-за сопротивления воздуха. Наше счастье, что мы защищены атмосферой от метеорных тел, но все равно некоторые из них, наиболее массивные, способны достичь поверхности Земли и вызвать разрушения. Большой метеоритный кратер в Аризоне (США) образовался около 24 000 лет назад при взрыве громадного тела. Диаметр этого кратера больше километра и даже сейчас его глубина достигает приблизительно 200 м, несмотря на его заполнение породой вследствие эрозии. Вокруг Аризонского кратера были в изобилии найдены мелкие железные метеориты, но не удалось обнаружить ни одного крупного осколка ни путем бурения, ни с

помощью радиодетектирования. Железный метеорит взорвался при ударе о землю с силой, намного превышающей силу любых известных взрывов. Тунгусский метеорит 1908 г. взорвался с такой силой, что деревья были повалены на расстоянии до 30 км от места взрыва. В этом случае упавшее тело было почти наверняка обломком кометы малой плотности, разрушившимся в атмосфере на высоте нескольких километров. В 1947 г. на Дальнем Востоке упал большой железный (Сихотэ-Алиньский) метеорит, образовавший большое число кратеров. В 1972 г. поблизости от западного побережья Северной Америки, на расстоянии всего лишь 50 км от земли, пронеслось тело массой не меньше 100 т. Если в текущем столетии были зарегистрированы падения двух крупных метеоритов на суше и одно падение вблизи побережья, то над океаном таких событий, которые остались незамеченными, возможно, было в несколько раз больше.

Исчезновение динозавров в конце мелового периода 65 млн лет назад, а также окончание других геологических периодов могло быть следствием падения на Землю тел размерами с астероид. Ученые обнаружили, что в осадках позднемелового периода содержание сравнительно редкого элемента иридия в 30-160 раз выше, чем в более ранних и более поздних пластах. В земных породах иридия гораздо меньше, чем на Солнце и метеоритах, вероятно потому, что он осел к центру Земли вместе с железом. Его повышенная концентрация в позднемеловом слое является сильным доводом в пользу того, что в то время в Землю врезался астероид диаметром около 10 км. В результате мощного взрыва в атмосферу были бы подняты тучи пыли (свыше тысячи кубических километров). Такого количества пыли достаточно для того, чтобы в течение нескольких лет преграждать путь солнечным лучам. Возможно при этом был нарушен процесс фотосинтеза, что прервало пищевую цепь и от голода вымерли многие позвоночные массой более 10 кг, исчезла половина всех видов живых организмов.

Атмосфера защищает нас не только от малых метеоров, но и от смертоносной космической радиации. Под действием солнечных лучей в атмосфере образуется озон (молекула которого

состоит из трех атомов кислорода); он образует защитный слой от более коротковолнового излучения в дальней ультрафиолетовой области, представляющего опасность для всего живого. Если бы весь поток ультрафиолетового излучения достигал земной поверхности, то жизнь на Земле в какой-либо форме вообще не могла бы существовать, по крайней мере на суше. Атмосфера задерживает также многие частицы, опасные для жизни.

Развитие литосферы и рельефа. Наиболее характерная особенность строения рельефа и земной коры — наличие материковых массивов и океанических впадин. Общая направленность структурного развития земной коры заключается в том, что на первичной базальтовой коре под влиянием действия геосинклинального процесса, т. е. образования линейных тектонических структур, стали возникать острова материковой коры. Этот процесс начался в архейскую эру. В результате действия геосинклинального процесса, включающего в себя складчатость и гранитизацию, происходила консолидация обширных областей земной коры. Она сопровождалась увеличением масс горных пород гранитного слоя материковой коры, возрастанием ее мощности над уровнем моря. С мезозойской эры начал развиваться процесс раскола материковой коры и раздвижения ее в стороны от образовавшихся рифтов. Это привело к дрейфу континентов. С появлением на Земле воды произошло скачкообразное возрастание темпа развития ее внешней области. Геотектонический процесс создания материков (геосинклинальный процесс) также мог развиваться только в условиях морских бассейнов.

В современных условиях наибольшая активность тектонической деятельности Земли проявляется через землетрясения, поэтому остановимся на них более подробно.

Землетрясения — это одна из наиболее страшных природных катастроф, уносящая десятки и сотни тысяч человеческих жизней и вызывающая опустошительные разрушения на огромных пространствах. Седьмого декабря 1988 г. в Армении произошло мощное землетрясение, которое полностью стерло с лица Земли город Спитак. Тогда за несколько секунд погибло более двадцати пяти тысяч человек, а несколько сот тысяч

получили ранения. Ашхабадское землетрясение в ночь с пятого на шестое октября 1948 г. унесло сто тысяч жизней. В Китае в 1920 г. погибло двести тысяч человек, в 1923 г. в Японии — более ста тысяч. Примеров катастрофических землетрясений, повлекших за собой большие жертвы, очень много. Именно поэтому ученые многих стран предпринимают большие усилия в изучении природы землетрясений и их прогноза. К сожалению, предсказать место и время землетрясения, за исключением нескольких случаев, до сих пор еще не удастся.

Любое землетрясение — это мгновенное высвобождение энергии за счет образования разрыва горных пород, возникающего в некотором объеме, называемого очагом землетрясения, границы которого не могут быть определены достаточно строго и зависят от структуры и напряженно-деформированного состояния горных пород в данном конкретном месте. Деформация, происходящая скачкообразно, излучает упругие волны. Объем деформируемых пород играет важную роль, определяя силу сейсмического толчка и выделившуюся энергию.

Большие пространства земной коры или верхней мантии Земли, в которых происходят разрывы и возникают неупругие тектонические деформации, порождают сильные землетрясения: чем меньше объем очага, тем слабее сейсмические толчки. Гипоцентром, или фокусом, землетрясения называют условный центр очага на глубине, а эпицентром — проекцию гипоцентра на поверхность Земли. Чаще всего очаги землетрясений сосредоточены в земной коре на глубине 10-30 км. Как правило, главному подземному сейсмическому удару предшествуют локальные толчки — форшоки. Очаг землетрясения характеризуется интенсивностью сейсмического эффекта, выражаемого в баллах и магнитуде. В России используется 12-балльная шкала интенсивности. Согласно этой шкале принята следующая градация интенсивности землетрясений: I—III балла — слабые, IV-V — ощутимые, VI-VIII — сильные (разрушаются ветхие постройки), VIII — разрушительные (частично разрушаются прочные здания, падают фабричные трубы), IX — опустошительные (разрушается большинство зданий), X — уничтожа-

ющие (разрушаются мосты, возникают оползни и обвалы), XI — катастрофические (разрушаются все сооружения, изменяется ландшафт), XII — губительные катастрофы (вызывают изменения рельефа местности на обширной территории).

Сейсмические волны, распространяющиеся от очага землетрясения во все стороны, достигая поверхности Земли, могут быть зафиксированы специальными приборами — сейсмографами, которые записывают ничтожные колебания грунта от землетрясений, происшедших даже на противоположной стороне земного шара. Ежегодно регистрируется более нескольких сот тысяч землетрясений, ощущаемых людьми, однако только около 100 землетрясений можно отнести к разрушительным. Эта непрерывная сейсмическая активность является следствием современных тектонических движений в самой поверхностной оболочке Земли — литосфере.

Размещение землетрясений на земном шаре носит вполне закономерный характер и в целом хорошо объясняется теорией тектоники литосферных плит. Наибольшее количество землетрясений на земном шаре связано с границами плит, т. е. с такими законами, где плиты либо сталкиваются друг с другом, либо расходятся и наращиваются за счет образования новой океанической коры. У нас в стране к наиболее сейсмически активным регионам относятся Восточные Карпаты, Горный Крым, Кавказ, Копетдаг, Тянь-Шань Памир, Алтай, район озера Байкал и Дальний Восток, особенно Камчатка, Курильские острова и остров Сахалин, где двадцать восьмого мая 1995 г. произошло разрушительное нефтегорское землетрясение с магнитудой 7,5, а число погибших составило две тысячи человек.

Механизм землетрясений — весьма сложный процесс, к пониманию которого сейсмологи только приближаются. Очаг сильного землетрясения представляет собой некоторое внезапное смещение в определенном объеме пород по относительно обширной плоскости разрыва, поэтому механизм землетрясения представляет собой кинематику движения в очаге.

Если землетрясение происходит в океане, над его эпицентром при внезапном вертикальном смещении дна во всей массе

воды возникают своеобразные подводные волны,двигающиеся со скоростью 800 км/ч во все стороны от эпицентра. В открытом океане эти длинные волны практически неощутимы, но с приближением к пологому берегу, в заливах, бухтах высота волн многократно увеличивается, образуется крутая водяная стена высотой 10-15 м, а нередко и более, с колоссальной силой и грохотом обрушивающаяся на берег, сметая все на своем пути. Цунами 1996 г. на Японском побережье привело к гибели двадцати шести тысяч человек.

Прогноз землетрясений — наиболее проблема, которой занимаются ученые во многих странах мира. Однако, несмотря на все усилия, этот вопрос еще далек от разрешения. Прогнозирование землетрясений включает в себя как выявление их предвестников, так и сейсмическое районирование, т. е. выделение областей, в которых можно ожидать землетрясение определенной балльности. Предсказание землетрясений состоит из долгосрочного прогноза на десятки лет, среднесрочного прогноза на несколько лет, краткосрочного на несколько недель или первые месяцы и объявление непосредственной сейсмической тревоги. Существует большое количество разнообразных предвестников землетрясений, начиная от собственно сейсмических, геофизических и кончая гидродинамическими и геохимическими. Например, сильные землетрясения в противоположность слабым в конкретном районе происходят через значительные промежутки времени, измеряемые десятками и сотнями лет, так как после разрядки напряжений необходимо время для их возрастания до новой критической величины. Иными словами, выявляется некоторая периодичность или сейсмический цикл, позволяющий давать хотя и очень приблизительный, но долгосрочный прогноз.

Сейсмические предвестники включают рассмотрение группирования роев землетрясений. Особый интерес в качестве предвестников представляют форшоки, предвещающие, как правило, основной сейсмический удар. В качестве геофизических предвестников используют точные измерения деформаций и наклонов земной поверхности с помощью специальных приборов —

деформаторов. Перед землетрясением скорость деформации резко возрастает. К предвестникам относится также изменение скоростей пробега продольных и поперечных сейсмических волн в очаговой области непосредственно перед землетрясением. То же относится и к вариациям магнитного поля, так как напряженное состояние пород влияет на колебания величины магнитного эффекта в магнитных минералах. Довольно надежны в качестве предвестников измерения колебания уровня подземных вод, поскольку любое сжатие в горных породах приводит к повышению этого уровня в скважинах и колодцах.

Но так же, как и тысячи лет назад, мы не в состоянии предвидеть, где, какой силы и главное когда произойдет очередной удар подземной стихии. В настоящее время степень предсказуемости долго- и среднесрочного прогноза имеет вероятность 0,7-0,8. Хуже обстоит дело с краткосрочными прогнозами, для которых пока не установлены значимые связи с предвестниками. Любой современный прогноз землетрясения носит вероятностный характер, и главная цель сейсмологии еще не достигнута.

Вулканы. Еще одним видом динамических процессов, происходящих в земной коре, являются вулканы. С древности огнедышащие горы в честь бога огня и кузнечного ремесла называют вулканами. Извержение вулкана обычно продолжается несколько дней, иногда — несколько месяцев. После сильного извержения вулкан успокаивается на несколько лет и даже десятилетия. Вулканы, подверженные извержениям, называются действующими, а не подверженные — потухшими. В настоящее время на Земле известно несколько сот действующих вулканов. На вершине вулкана образуются мощные ледники, которые при сильных извержениях тают, создавая стремительные потоки воды или грязи. Вулканы обычно имеют форму конуса со склонами, пологими у подошв и крутыми у вершин. Кратер вулкана имеет глубокую впадину с обрывистыми стенами и похож на гигантскую чашу. Дно кратера покрыто облаками крупных и мелких камней, а из трещин поднимаются струи газа и пара. Одни струи поднимаются спокойно, другие — вырываются с шипением и свистом. Кратер наполняют удушливые газы, обра-

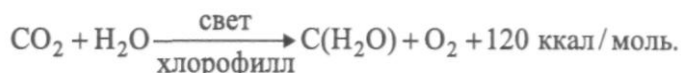
зующие облако на вершине вулкана. Так вулкан может спокойно крутиться месяцы и годы, пока не произойдет извержение.

Вулканологи предсказывают извержения вулканов, анализируя события предшествующие извержению. Обычно извержению предшествуют вулканические землетрясения, подземный гул, усиленное выделение паров и газов. На вершине вулкана сгущаются облака, а его склоны вспучиваются. Под давлением газов дно кратера взрывается. Вулкан грохочет и дрожит, по его жерлу поднимается бурлящая огненно-жидкая лава. Переливаясь через края, она устремляется по склонам, сжигая и уничтожая все на своем пути. Извержения вулканов происходят также на дне морей и океанов. При этом над водой поднимаются столбы пара, на поверхности воды появляется "каменная пена" — пемза.

Причиной появления очагов вулканов и магмы считается тепло от радиоактивного распада элементов в мантии. Очаги магмы располагаются под земной корой, в верхней части мантии, на глубине не менее 50 км. Под сильным давлением выделяющихся газов магма, расправляя окружающие породы, прокладывает себе путь и образует жерло или канал вулкана. Освобождающиеся газы взрывами расчищают путь по жерлу, разламывая твердые породы и выбрасывая их куски на большую высоту. При этом магма выливается из кратера и уже как лава течет по склонам вулкана. Если магма не находит выхода на поверхность, то она затвердевает в трещинах земной коры. Иногда, внедряясь в трещины, магма поднимает поверхность земли куполом и застывает в форме купола.

Эволюция биосферы. Эволюция химических соединений, приведшая к зарождению жизни, началась с появления на Земле масс жидкой воды, т. е. с ранней геологической истории. Время образования предбиологических систем (коацерватов) продолжалось около 1 млрд лет. Самые старые ископаемые клетки образовались в архейский период развития Земли, продолжавшийся от 3,4 до 2 млрд лет назад. В протерозое, длившемся от 2 млрд лет до 600 млн лет назад, образовались наиболее старые из фотосинтезирующих растений. В конце протерозоя образовались

различные организмы. Были обнаружены отпечатки 13 видов медузообразных, кишечно-полостных, некоторые виды червей и животных, не похожих на формы более позднего времени. Уже существовал биотический круговорот вещества и энергии. Зеленые растения, водоросли и фотосинтезирующие бактерии путем фотосинтеза поглощали из воздушной среды углекислый газ и воду, а выделяли из нее кислород. Общее уравнение фотосинтеза выражается так:



Таким образом, в процессе фотосинтеза атмосфера обогащается кислородом и теряет углекислый газ. Современный состав атмосферы (азот — 78%, кислород — около 21%, углекислый газ — 0,031%) — результат деятельности органического мира. При солнечном излучении в области спектра от 1000 до 2000 происходит реакция между атомом и молекулой кислорода с образованием озона: $\text{M} + \text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$. Наибольшая концентрация озона находится на высоте 25 км над поверхностью Земли. Это так называемый озоновый слой, поглощающий излучение в диапазоне волн короче 3000 Å.

Палеозойская эра (от 600 до 225 млн лет назад) — это время древней жизни. В начале палеозоя суша представляла голую пустыню, а в море обильно развивались сине-зеленые и красные водоросли, а также представители всех типов животных организмов. В развитии биосферы выход растений на сушу — настоящая революция. В условиях жаркого влажного климата происходило произрастание огромных древовидных растений, папоротников и отложения их в прибрежных осадках.

Мезозойская эра (от 225 до 70 млн лет назад) характеризуется дальнейшим развитием растительного и животного мира как на суше, так и на море. Произошло массовое распространение рептилий — динозавров, черепах, древних крокодилов, ихтиозавров.

В кайнозойскую эру (от 70 млн лет назад) развивались млекопитающие.

Итак, начиная с древнейших времен до современной эпохи шло непрерывное развитие биосферы — увеличение разнообразия живых форм и усложнение их организации. Жизнь, зародившись в море, захватила и сушу. На ранней стадии своего развития протоземля была окружена роем небольших спутников, радиусы которых достигали 100 км. Со временем из них на расстоянии около 10 земных радиусов сформировалась Луна. Одновременно в результате приливных воздействий начался процесс ее медленного удаления от Земли, который продолжается до сих пор и сопровождается уменьшением скорости вращения Земли вокруг своей оси.

Таким образом, хотя есть много трудностей в объяснении эволюции Солнечной системы, можно уверенно говорить о том, что планеты и Солнце образовались из одного газопылевого облака и что сами планеты сформировались из роя холодных и твердых тел.

13.4. Космос и Земля

*Земля — колыбель человечества. Но
нельзя же вечно жить в колыбели!*

К. Э. Циолковский

Человечество всегда интересовалось тем, какое место занимают человек и Земля в окружающем мире. Понимали, что Земля как структурная единица мира связана с космосом и космос оказывает определенные воздействия на Землю. Но эта связь трактовалась по-разному. С древнейших времен влияние небесных тел на человека рассматривается в астрологии. Астрология возникла в те очень далекие времена, когда все явления окружающего мира: землетрясения, извержения вулканов, засухи, эпидемии—наши предки приписывали не законам природы, открытым много позднее Кеплером, Галилеем, Коперником, Ньютоном и другими учеными, а воле таинственных божеств. К таким божествам они относили известные светила: Солнце,

Луну, Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. Воле этих же светил приписывались и изменения в судьбах конкретных людей. Успехи, удачи, обогащение и неожиданные болезни, нищета, потеря близких — все это считалось "проделками" светил. Но от бед можно уберечься, если знать, как расположены к тебе звезды, что готовят они сегодня и в будущем. Именно это стремление уберечься от бед и привело к расцвету и столь долгой жизни астрологии.

Современное общество, как и в прошлом, относится к астрологии неоднозначно. В то время как серьезные ученые критикуют астрологов и астрологию, разбирая ее буквально "по косточкам", периодические издания полны гороскопов и предсказаний. Имена астрологов также известны сегодня, как имена популярных артистов. Книги по астрологии пользуются популярностью.

В чем же суть астрологии? Если это наука о взаимосвязи ритмов человека и космоса, наука, более прочих учитывающая диалектическое единство Человека и Вселенной, то и оценка должна быть соответствующей. Ведь отрицать это единство в наши дни просто невозможно. Однако в том-то и камень преткновения, что в течение тысячелетий в астрологии видели инструмент предсказаний и ключ к загадочной и пугающей книге судеб. И несмотря на все оговорки, отказаться от привычной роли пророчицы астрология не в силах и сегодня. Реальная астрология, существующая в истории, — это учение о предсказании будущего на основе наблюдений звездного неба. Жизнь показывает, что именно сама логика познания, противоречия, взлеты и тупики обуславливают в немалой мере тот интерес к астрологии, который мы наблюдаем сегодня. Отрицая такую астрологию, вместе с тем наука признает неразрывную связь, единство Человека и Мира, их взаимосвязь и влияние Космоса на процессы, происходящие на Земле, в том числе на биосферу и человека. Рассмотрим некоторые из них.

Наиболее близким небесным телом к Земле является его спутник Луна. Давно подмечено и воздействие Луны на Землю и на все живое на нем. Разница в силах притяжения со стороны Луны различных участков земной поверхности вызывает изме-

нение силы тяжести на земной поверхности и поэтому возникают во всех сферах Земли (гидросфере, литосфере, атмосфере) известные явления приливов и отливов. Естественно, эти изменения сказываются и на биосфере, и человеке. Особенно существенными они становятся во время новолуний и полнолуний, когда к лунным приливам и отливам прибавляются и солнечные.

Поскольку сила притяжения создает приливное ускорение, обращенная к Луне сторона Земли притягивается с силой, на 7% большей, чем центр Земли. Эта разность сил ведет к искажению формы Земли — растягивает шар вдоль линии, соединяющей Луну и Землю. Энергия приливов превращается в тепловую, причем выделяемая мощность составляет около $3 \cdot 10^{19}$ эрг. Влияние приливного трения не ограничивается историческим периодом; и оно действовало с древнейших геологических эпох. У некоторых ископаемых кораллов найдена кольцеобразная структура, подобная годичным кольцам роста деревьев, по которой можно проследить суточную и годичную скорость роста. Влияние сил притяжения Луны приводит к торможению вращения Земли, вследствие которого продолжительность земных суток медленно увеличивается. Было установлено, что 400 млн лет назад год длился 400 суток, следовательно, продолжительность суток была около 22 ч. Месячные кольца показали, что лунный месяц тогда был равен 21 суткам.

При изменении фаз Луны изменяется степень освещенности Земли со стороны Луны. Эти явления, естественно, оказывают какое-то влияние на биосферу и человека. Хотя Луна и не оказывает прямого воздействия на человеческую жизнь, она обогащает ее благодаря таким явлениям, как океанские приливы и затмения. А иногда, созерцая Луну, мы испытываем истинное вдохновение. Известные недельные ритмы явлений биосферы связаны с влиянием Луны и ее фазами. Видимо, обнаружив такие связи Луны и Земли, появляются различные астрологические прогнозы и гадания. В частности, еще в начале XVIII в. в Англии появился трактат, в котором говорилось о том, что приступы эпилепсии, астмы, истерики и головокружения могут быть связаны с различными фазами Луны.

Безусловно, наибольшее влияние на процессы, происходящие на Земле, оказывает Солнце. Солнце играет исключительную роль в жизни Земли. Весь органический мир нашей планеты обязан Солнцу своим существованием. Солнце — не только источник света и тепла, но и первоначальный источник многих других видов энергии (энергии нефти, угля, воды, ветра).

Издавна у разных народов Солнце было объектом поклонений. Его считали самым могущественным божеством. Культ непобедимого Солнца был одним из самых распространенных (Омон и Ра — бог Солнца у египтян, Гелиос — греческий бог Солнца, Аполлон — бог Солнца у римлян, Митра — у персов, Ярило — у славян и т. д.). В честь Солнца воздвигали храмы, слагали гимны, приносили жертвы. Ушло религиозное поклонение дневному светилу. Сейчас ученые исследуют природу Солнца, выясняют его влияние на Землю, работают над проблемой применения практически неиссякаемой солнечной энергии. Из всей энергии, излучаемой Солнцем в космическое пространство, примерно одна двухмиллиардная часть достигает границы земной атмосферы. Около трети энергии солнечного излучения, падающего на Землю, отражается ею и рассеивается в космос. Много солнечной энергии идет на нагревание земной атмосферы, океанов и суши. От Солнца поверхность Земли получает более чем в 2000 раз больше энергии, чем она сама испускает, поэтому можно сказать — вся биосфера Земли образована и существует за счет солнечной энергии.

Пионером изучения солнечно-земных связей является наш соотечественник А. Л. Чижевский. Солнце посылает на Землю свет и тепло; электромагнитные излучения от жесткого гамма-излучения до километровых радиоволн, потоки заряженных частиц; Солнце воздействует на Землю либо прямо, т. е. в виде переноса солнечной энергии к Земле, либо путем перераспределения уже накопленной энергии в магнитосфере, ионосфере и нейтральной атмосфере Земли. Общеизвестно, что основой жизнедеятельности биосферы на Земле являются суточные и годовые биоритмы, связанные с движением Солнца.

Комплекс нестационарных образований в атмосфере Солнца (пятна, факелы, протуберанцы, вспышки и др.) называется солнечной активностью. Солнечная активность имеет 11-летнюю цикличность. В годы максимума солнечной активности на Солнце много центров активности (возмущенное Солнце). В годы минимума центров активности мало (спокойное Солнце).

То, что Солнце — основа возникновения и существования жизни на нашей планете, а также причина большинства протекающих на ней физических и химических процессов, — тривиальная истина, привычная с незапамятных времен. Однако роль его гораздо значительнее и сложнее, нежели предполагалось ранее. Александру Леонидовичу Чижевскому удалось научно доказать, что для органического мира Земли существенна не только постоянно излучаемая Солнцем энергия, но и периодически возникающие изменения "солнцедетельности", или солнечной активности. Наиболее ярко солнечная активность проявляется в виде солнечных пятен, образующихся на его поверхности. Во время минимума солнечной активности число пятен минимально, во время максимума достигает наибольшего значения. Как показали систематические наблюдения пятен, проводимые на протяжении многих десятилетий, в их проявлении на поверхности Солнца имеются определенные закономерности. В качестве меры пятнообразовательной деятельности Солнца используются числа Вольфа:

$$W = 10g + f,$$

где g — число групп пятен, f — общее число всех пятен, видимых на диске Солнца. Оказалось, что число пятен на Солнце изменяется приблизительно периодически с периодом около 11 лет. От Солнца к Земле идут потоки ионизированной плазмы и связанного с ней магнитного поля, называемые солнечным ветром, который по существу является непрерывно расширяющейся внешней солнечной короной. Состав и параметры солнечного ветра коррелируют с солнечной активностью.

Активные процессы, происходящие на Солнце, в той или другой степени воздействуют на Землю, на состояние ее атмос-

феры, на ее магнитное поле и на ее биосферу, в частности на организм человека. Так, еще в XIX в. было замечено, что амплитуда суточных колебаний магнитного поля Земли изменяется от года к году в ритме с числом пятен на Солнце. Наблюдения показали, что спустя 1-2 суток после прохождения больших пятен или их групп через центральный меридиан Солнца возникают особенно сильные неправильные колебания величины магнитного поля Земли — магнитные бури. И они, и полярные сияния связаны с движущимися от Солнца корпускулярными потоками.

Непосредственно во время вспышек, наблюдаемых в хромосфере, происходят нарушения радиосвязи, особенно на длинах волн от 15 до 60 м. Они обусловлены резким возрастанием ионизации в ионосфере под действием повышенного излучения Солнца в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах.

При исследовании поперечных срезов стволов деревьев было обнаружено, что толщина годовичных колец в различные годы была неодинаковой, она ритмично повторялась. Было найдено, что в любом районе Земли рисунок расположения колец одинаков у всех деревьев. Были исследованы древесные отложения за последние 3000 лет. На основе этого были получены четко выраженные циклы роста, составляющие около 11 лет. Максимуму солнечной активности соответствуют широкие кольца, что указывает на благоприятные условия роста деревьев в этот период.

Изучение исторических документов показало, что имевшие место в прошлом вспышки чумы, холеры, скарлатины и дифтерии приходились преимущественно на годы максимумов активности Солнца. Современные статистические данные указывают на то, что количество случаев обострения сердечно-сосудистых заболеваний в момент появления на Солнце вспышки увеличивается в 3-5 раз. По-видимому, в ритме с солнечными явлениями изменяются некоторые функции человеческого организма. По некоторым данным, чем больше активность Солнца, тем меньше средняя концентрация соляной кислоты в желудке. В максимуме активности способность сыворотки крови растворять инородные частицы и микробы примерно на 30% меньше, чем в минимуме.

В результате и понижается барьер, которым организм защищает себя от болезнетворных микробов.

В целом влияние солнечной активности на человека происходит через возмущения магнитного поля Земли во время вспышек. Отмечается существенное влияние флуктуации солнечной активности и геомагнитной возмущенности на разнообразные, в том числе биологические процессы на Земле (динамика популяций, животных, эпидемий, количество сердечно-сосудистых кризисов и т. д.). Наиболее вероятной причиной таких связей являются низкочастотные колебания электромагнитного поля Земли. Под воздействием солнечной активности на Земле происходят прекращение радиосвязи, всплески шумового радиоизлучения, ионосферные и магнитные бури, полярные сияния, внезапные увеличения интенсивности космических лучей и т. д.

Надежно установлена связь солнечной активности с погодно-климатическими изменениями. Имеется цикл появления засухи с периодом около 22 лет. Не вызывает споров связь солнечной активности с частотой следования гроз. Если солнечная активность влияет на климат и погоду, то нет ничего удивительного, что важнейшие циклы солнечной активности просматриваются в показателях урожайности. Установлена закономерность: в Северном полушарии наибольшая урожайность приходится на годы максимума солнечной активности, в Южном полушарии — наоборот, наиболее обильные урожаи собирают, как правило, в эпохи минимума.

Сколько-нибудь значительное увеличение интенсивности приземного ультрафиолетового излучения длиной волны около 290 нм смертельно опасно для подавляющего большинства организмов. Амплитуда этих модуляций составляет от 10 до 50% в зависимости от технической оснащенности сельского хозяйства данной страны. Синхронизация биологических процессов такого рода с вариациями солнечной активности возникает не из-за погодных изменений, а обязана своим происхождением непостоянству совсем другого экологического параметра — электромагнитных фоновых полей. На низких (ниже 10^4 Гц) и сверхнизких (ниже 10^2 Гц) частотах, где напряженность полей

достигает довольно значительных величин, электромагнитное излучение генерируется в верхней атмосфере — магнитосфере. Эти процессы контролируются явлениями на Солнце, солнечной активностью (внешняя корона Солнца доходит до Земли). Получается, что упомянутые вариации могут отражать вариации солнечной активности. Эти колебания генерируются на самой границе магнитосферы. Организм проявляет очень высокую чувствительность к сверхнизкочастотным магнитным и электрическим полям малой напряженности. Сейчас не подлежит сомнению, что амплитудно-спектральные вариации низкочастотного электромагнитного фона приводят к биохимическим, физиологическим и т. п. изменениям в организмах — от бактерий до человека.

При анализе европейской статистики смертности от чумы и холеры А. Л. Чижевским обнаружено, что они приурочены в основном к максимумам солнечной активности. Сейчас известны также статистические данные, указывающие на увеличение числа случаев осложнений при родах с возрастанием уровня геомагнитной возмущенности (степень выраженности такого явления усиливается с приближением к высоким широтам). В 11-летнем цикле солнечной активности частота следования естественных электромагнитных возмущений и их масштаба сильно различаются при переходе от максимума активности к минимуму. Возможно, поэтому организмы, чей эмбриональный период развития приходится на максимум и минимум солнечной активности, приобретают какие-то характерные особенности, определенные различия. Действительно, на протяжении двух последующих десятилетий накоплены данные, указывающие на существование некоторых конституциональных различий организма человека в зависимости от фазы 11-летнего цикла, на которую приходится дата его рождения. Выявленные различия охватывают широкий круг параметров. Например, некоторые показатели кровяного давления у школьников тем выше, чем выше был уровень солнечной активности в год их рождения. Дети, внутриутробное развитие которых проходило при более высоком уровне солнечной активности, в среднем более подвер-

жены некоторым заболеваниям, и протекание определенных заболеваний у таких детей имеет примечательные особенности. Было замечено также, что риск заболевания шизофренией статистически коррелирует с уровнем солнечной активности в период внутриутробного развития.

Была также обнаружена закономерная циклическая повторяемость скачков в развитии науки, явно коррелирующая с солнечной активностью. Например, все эпохи повышенной солнечной активности, приходящиеся на период творческой жизни А. Эйнштейна, непосредственно отразились на ней. Это можно проследить как по его наиболее выдающимся достижениям 1905, 1916, 1927, 1938 и 1949 годов, так и по соответствующим циклическим вариациям статистических количественных показателей плодотворности этого гениального ученого.

А. Л. Чижевский установил несомненное влияние всплесков солнечной активности на массовое состояние и поведение людей, на происходящие время от времени всплески массовых безумств и психических расстройств. Таким образом, земная ноосфера оказывается непосредственно связанной со средним периодом циклически изменяющейся солнечной активности.

Число таких примеров можно легко увеличить. Мы ограничимся упоминанием о существовании специальных физиологических тестов, дающих существенно различные результаты при их применении в зависимости от того, родился ли испытуемый в годы максимума или минимума солнечной активности. Зависимость типологических характеристик организма человека от фазы 11-летнего цикла, на которую приходится период его эмбрионального развития, усиливается, акцентируется, когда магнитный момент Земли достигает минимума. В такие эпохи становятся существенными и другие циклы электромагнитных возмущений, накладывающиеся на "основной" 11-летний цикл: сезонные, недельные. В настоящее время зависимость физиологических, психологических и т. п. личностных характеристик человека от сезона его рождения (точнее, от сезона, на который приходятся критические периоды развития эмбриона) многими считается несуществующей. Это определенно неверно. Дока-

зано, например, что риск заболевания шизофренией заметно выше для лиц, родившихся в интервале с января по апрель, и особенно в интервалах повышенной геомагнитной возмущенности. Определенные типологические характеристики организма человека зависят от того, в какую фазу солнечного 11-летнего цикла он родился. Поскольку фаза солнечного цикла может быть связана с определенными планетными конфигурациями, то эти типологические характеристики оказываются связанными также и с взаимным расположением планет. Соблазнительно предположить, что такая корреляционная связь была подмечена в древности и послужила идейной основой для развития древнейшей космической доктрины — астрологии. Одним из первых, кто обратил внимание на эти возможные гносеологические корни возникновения астрологии, был А. Л. Чижевский. Но такое предположение о происхождении астрологии вызывает, конечно, целый ряд вопросов.

Таким образом, мы можем резюмировать следующее: вероятной причиной столь глубокого и прочного интереса древних к астрономическим наблюдениям Луны, Солнца и, видимо, планет было удовлетворение потребностей в прогнозе и изучении гармонии важнейших ритмов биосферы. Метод прогноза ясен. Из известной сейчас цепочки корреляционных связей (конфигурации планет — солнечная активность — проявления солнечной активности в биосфере и атмосфере) древние астрономы использовали два звена, сопоставляя непосредственно взаимное расположение планет с проявлениями солнечной активности в среде обитания.

Имеющиеся в настоящее время данные позволяют предполагать, что таким образом можно было в принципе прогнозировать урожайность, численность промыслового зверя, улов рыбы, эпидемии и эпизоотии, а также контролировать демографическую ситуацию в пределах 11-летнего цикла. Вероятно, тогда же была подмечена связь некоторых существенных типологических характеристик организма человека с фазой 11-летнего цикла, в которую он родился, т. е. с взаимным расположением планет. Упомянутые особенности, очевидно, зависят также от сезона

рождения (т. е. от перемещения Солнца относительно звезд) и от околосекулярной (околомесячной) ритмики, показателем которой могут служить лунные фазы. Эта эмпирическая связь, вероятно, послужила идейной основой для возникновения астрологии, хотя сейчас ясно, что все эти эффекты обусловлены солнечной активностью, чье воздействие на организм опосредствовано вариациями электромагнитного фона на низких и сверхнизких частотах.

ВЫВОДЫ

1. На определенной стадии эры вещества произошла фрагментация однородно распределенного вещества Вселенной. Согласно критерию Джинса, сгущения, возникшие в однородной среде, либо уплотняются под действием сил тяготения, либо рассасываются под действием газового давления. Критический размер сгущения и его масса по критерию Джинса зависят от соотношения температуры и плотности.

2. Структура галактики определяется начальными условиями ее образования. Другими словами, галактики рождаются либо как спиральные, либо как эллиптические, и в процессе эволюции тип галактики сохраняется. В настоящее время имеются уже довольно хорошо разработанные модели превращения огромного облака газа, сжимающегося в результате действия закона всемирного тяготения сперва в протогалактику, а потом в галактику.

3. Наша Галактика — гигантская звездная система, состоящая из двухсот миллиардов звезд и представляющая собой диск с утолщением в центре — гало. Считается, что она образовалась примерно 13 млрд лет назад. Среди звезд, или населения, есть звезды более молодые и более старые, причем молодые звезды сконцентрированы в достаточно тонком диске, а старое население Галактики почти равномерно занимает сферический объем с увеличивающейся концентрацией к центру.

4. Согласно концепции эволюции звезд, из газопылевых комплексов, наблюдаемых в виде туманностей, под действием тяготения образуются фрагменты, по форме напоминающие шар.

Этот шар постепенно вращается, уплотняется, разогревается изнутри — образуется протозвезда. При достижении температур 8 млн К начнутся термоядерные реакции, прекращающие дальнейшее сжатие, и протозвезда станет звездой.

5. Скорость эволюции звезд зависит от их первоначальной массы. Состояние горячего белого карлика — вероятное будущее звезды с массой, примерно равной солнечной — до $1,2 M_{\odot}$. Устойчивое состояние таких звезд длится примерно 9-10 млрд лет. После выгорания водорода в центре такой звезды образуется ядро из гелия, в оболочку которого перенесутся термоядерные реакции. Внешние оболочки начнут расширяться, и звезда превратится в красного гиганта. Его оболочка постепенно теряется в пространстве, а горячее ядро, сжимаясь, станет белым карликом. Большие звезды — бело-голубые гиганты и сверхгиганты — могут эволюционировать до 1 млрд лет. В их недрах температуры много больше солнечных, и там идут термоядерные реакции с образованием новых химических элементов. Звезды массами меньше двух солнечных могут потерять устойчивость на последних этапах эволюции и взорваться как сверхновые, обогатив пространство тяжелыми химическими элементами, а затем сжаться до состояния нейтронной звезды. Нейтронные звезды и черные дыры — возможное будущее достаточно массивных звезд массами, превышающими солнечную более чем вдвое.

6. Современная наука предлагает картину рождения и развития Солнечной системы из холодного газопылевого комплекса — протопланетного облака около 5 млрд лет назад. Исследования распространенности химических элементов на планетах показывают, что все планеты имеют единое происхождение и единый возраст.

7. В формировании Земли существенную роль играли тепло недр и процессы радиоактивного распада. Формирование земной коры происходило в течение длительного периода, который, по данным палеонтологии, разделен на эры, периоды, эпохи, века. Большую роль в эволюции Земли сыграло наличие гидросферы и появление органической жизни на ней.

Вопросы для контроля знаний

1. Какие причины приводят к фрагментации однородно распределенного вещества?
2. В чем заключается критерий Джинса в образовании галактик?
3. Чем подтверждается верность термоядерного источника солнечной энергии?
4. Объясните, почему судьба звезды оказалась в сильной зависимости от ее массы.
5. О чем говорит наличие тяжелых химических элементов в звездах?
6. Какие гипотезы происхождения планет вам известны? Какие закономерности движения планет Солнечной системы они объясняют?
7. Какие общие особенности планет Солнечной системы свидетельствуют о едином происхождении планет? Поясните распространенность химических элементов в Солнечной системе.
8. На какие этапы разделяют эволюцию Земли?
9. Поясните, как сформировались атмосфера, гидросфера и биосфера Земли?
10. Какие солнечно-земные связи вы знаете?
11. Какие процессы происходят при звездном нуклеосинтезе?
12. Как происходило образование ядер элементов, расположенных после железа в таблице Менделеева?
13. Можно ли считать Солнечную систему единственной планетной системой?
14. В чем проявляются тектонические процессы на Земле?
15. Где расположены континентальные плиты?
16. Почему среди планет земной группы только Земля является жизнеспособной планетой?
17. Какова природа земного магнетизма?

Глава 14. КОНЦЕПЦИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

*Гармоничное взаимодействие всего
сущего не predetermined
предписанием некоего отчужденного
от него высшего начала, но
проистекает из того, что все живые
существа являются частями иерархии
родственных единств, составляющих
космическую систему, и повинуются
они лишь внутренним велениям
собственной природы.*

Чжуан-цзы (III в. до н. э.)

14.1. Концепции происхождения жизни на Земле

Одним из наиболее трудных и в то же время актуальных и интересных в современном естествознании является вопрос о происхождении жизни. Жизнь — одно из сложнейших, если не самое сложное явление природы. Для нее особенно характерны обмен веществ и самовоспроизведение, а особенности более высоких уровней ее организации обусловлены строением более низких уровней. Живые существа — это естественные информационные системы, т. е. системы, существующие сами по себе, а не в результате построения или составленной кем-то программы.

Отличие живого от неживого заключается в нескольких фундаментальных направлениях: вещественном, структурном и функциональном планах его изучения. **В вещественном** плане в состав живого обязательно входят высокоупорядоченные

макромолекулярные органические соединения, называемые биополимерами, — белки, нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК). **В структурном** плане живое отличается от неживого клеточным строением. **В функциональном** плане для живых тел характерно воспроизводство самих себя, вернее самовоспроизводство.

Живые тела отличаются от неживых также наличием обмена веществ, способностью к росту и развитию, активной регуляцией своего состава и функций, способностью к движению, раздражимостью, приспособленностью к среде и т. д. Однако имеются переходные формы от нежизни к жизни. Например, вирусы вне клеток другого организма не обладают ни одним из атрибутов живого, хотя у них есть наследственный аппарат. Они могут расти и размножаться лишь в клетке организма-хозяина, используя его ферментные системы.

В современном естествознании существует пять основных концепций возникновения жизни: 1) креационизм — божественное сотворение живого; 2) концепция многократного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества; 3) концепция стационарного состояния, в соответствии с которой жизнь существовала всегда; 4) концепция панспермии — внеземного происхождения жизни; 5) концепция происхождения жизни на Земле в историческом прошлом в результате процессов, подчиняющихся естественно-научным законам.

Первая концепция является религиозной и к науке прямого отношения не имеет. Хотя к нему близка концепция, согласно которой жизнь создана высшим разумом, находящимся вне Вселенной. Основывается она на отрицании возможности объяснить генезис жизни естественными причинами и направлена против концепции химической, предбиологической эволюции. В качестве основополагающего тезиса в данных концепциях рассматривается положение о том, что жизнь как на Земле, так и вообще где-либо во Вселенной не может возникнуть случайно. Жизнь представляет собой акт преднамеренного творения, что приводит к отождествлению современных космологических представлений с религиозными истинами, и для вечной, безграничной Вселенной характерно неизменное постоянство картин

жизни. Изложенная в ней временная и иерархическая последовательность событий содержит исходное представление об эволюции: первый день — появление света, второй день — звезд, третий день — создание Земли, четвертый день — Солнца и Луны, пятый день — рыб в море и птиц в небе, шестой день — создание человека и, наконец, седьмой день—день отдыха. В пользу данной концепции авторы приводят следующие аргументы: 1) белки, нуклеиновые кислоты и другие биологические соединения с их весьма сложной структурой могут быть созданы только живым существом, поскольку системы такой сложности не могут возникнуть в результате взаимодействия простых веществ в первичном океане; 2) в естественно-научном объяснении происхождения жизни необходимо исходить из положения, что жизнь уже была закодирована в структуре атомов.

В конце прошлого века были распространены "теории", согласно которым жизнь возникает в болотах, гниющей массе и тому подобных местах. Именно там из неживой материи возникают живые организмы — личинки мухи и даже мыши. **Вторую концепцию** опроверг изучавший деятельность бактерий французский микробиолог XIX в. — Луи Пастер. **Третья концепция** из-за своей оригинальности и умозаключительности всегда имела немного сторонников.

К началу XX в. в науке господствовали две последние концепции. **Концепция панспермии**, согласно которой жизнь была занесена на Землю извне, опиралась на обнаружение при изучении метеоритов и комет "предшественников живого" — органических соединений, которые, возможно, сыграли роль "семян". Во второй половине прошлого века шведский ученый Сванте Аррениус выдвинул оригинальную гипотезу. По его мнению, жизнь возникла не на Земле, а была занесена на нее из космоса. Наша планета была "заражена" микроорганизмами, прибывшими из глубин Вселенной. Этот процесс Аррениус назвал панспермией. Гипотеза шведского ученого не получила поддержки его коллег. Никто не видел возможности для микроорганизмов длительно путешествовать в космическом пространстве, не погибая от губительных излучений. В свое время эту гипотезу обсуждали

очень бурно. Его сторонниками были выдающиеся умы своего времени. Но были противники. Так, А. И. Опарин показал, что эта теория, строго говоря, ничего не дает. Во всяком случае, она не имеет никакого отношения к происхождению жизни, ибо даже если удастся доказать, что жизнь была занесена на нашу планету извне, то это не освобождает нас от необходимости объяснить, как же она возникла изначально. Теория панспермии позволяет разрешить лишь проблему происхождения земной жизни, одновременно увеличивая сложность основной проблемы во много раз.

В настоящее время возрождается старая идея панспермии. На международном симпозиуме "Поиски внеземной жизни", состоявшемся в Бостоне (США) в 1984 г., голландский ученый М. Гринберг сообщил, что в его экспериментах было показано, что в условиях вакуума и чрезвычайно низкой температуры, характерной для межзвездной среды, бактериальные споры могут противостоять радиации в течение нескольких тысяч лет. Этого, конечно, недостаточно, чтобы перенестись от звезды к звезде, но если "материнская" звезда проходит через пылевое облако, некоторые споры получают от его частиц дополнительную защиту и могут путешествовать миллионы лет.

У концепции появления жизни на Земле в историческом прошлом два варианта. Согласно одному, происхождение жизни — результат случайного образования единичной "живой молекулы", в строении которой был заложен весь план дальнейшего развития живого. Согласно другой точке зрения, происхождение жизни — результат закономерной эволюции материи.

Эта последняя концепция представляется наиболее научной, рассмотрим ее детально. Широко распространенной и экспериментально обоснованной является модель, получившая за рубежом название гипотезы Опарина-Холдейна — по имени ученых, выдвинувших сходные гипотезы скорее всего независимо друг от друга. Общность развиваемых учеными взглядов состоит в принятии за исходные тезисы утверждения о том, что все необходимые для возникновения жизни биологически значимые органические соединения могут образоваться в

абиогенных условиях, т. е. без участия живого, лишь на основе физико-химических закономерностей превращения веществ. Большинство современных специалистов также убеждено, что возникновение жизни в условиях первичной Земли есть результат естественной эволюции материи. Для изучения научной проблемы происхождения жизни необходимы прежде всего сведения о физико-химических условиях на ранней Земле. Такие данные связаны как с геологической эволюцией планеты, так и с эволюцией химических элементов Солнечной системы и солнечной активностью. Из большого числа химических элементов для жизни необходимы только 16, а водород, углерод, кислород и азот составляют почти 99% живой материи. В вещественном плане для становления жизни нужен прежде всего углерод. Жизнь на Земле основана на этом элементе, хотя в принципе можно предположить существование жизни и на кремниевой основе.

Уникальными свойствами обладает углерод, и наша жизнь называется углеродной или органической. Четырехвалентность углерода приводит к огромному числу его соединений, которыми занимается органическая химия. Углерод образует сложные молекулы, представляющие собой кольца и цепи, обеспечивающие разнообразие органических соединений. Аминокислоты — важный для жизни класс органических соединений. В живых организмах они используются для синтеза белков, растения могут синтезировать их из простых веществ, а в животные организмы часть их должна поступать с пищей, поэтому их называют незаменимыми. Из четырех нуклеотидов построены и другие крупные молекулы — нуклеиновые кислоты, тоже входящие в состав живой клетки. Кислород, водород и азот наряду с углеродом можно отнести к основам живого. Клетка состоит на 70% из кислорода, 17% углерода, 10% водорода, 3% азота. Все они принадлежат к наиболее устойчивым и распространенным на Земле химическим элементам. Они легко соединяются между собой, вступают в реакции и обладают малым атомным весом. Их соединения легко растворяются в воде. Органические вещества присутствовали на Земле при ее образовании. Они могли синтезироваться и на поверхности пылин.

Современная теория происхождения жизни основана на идее о том, что биологические молекулы могли возникнуть в далеком геологическом прошлом неорганическим путем. Для возникновения жизни нужны определенные температуры, влажность, давление, уровень радиации, определенная направленность развития Вселенной и время. Земля подходила для зарождения жизни. Ее возраст 4,6 млрд лет. Температура поверхности в начальный период была 4000-8000 °С и по мере остывания Земли углерод и более тугоплавкие металлы конденсировались и образовали земную кору. Первичная атмосфера Земли на протяжении 2 млрд лет состояла, вероятно, главным образом из водяных паров, N_2 , CO_2 , с небольшой примесью других газов (NH_3 , CH_4 , H_2S) при почти полном отсутствии O_2 (практически весь кислород, содержащийся в атмосфере в настоящее время, является продуктом фотосинтеза). Отсутствие в первоначальной атмосфере кислорода было необходимым условием возникновения жизни, так как органические вещества легче создаются в восстановительной среде. В отсутствие кислорода, который мог бы их разрушить, а также живых организмов, которые использовали бы их в качестве пищи, абиогенно образовавшиеся органические вещества накапливались в Мировом океане, возникшем по мере охлаждения поверхности Земли вследствие конденсации водяных паров и выпадения осадков. В 1953 г. Г. Меллер экспериментально установил, что при подводе энергии (например, в форме электрических зарядов, ультрафиолетового излучения, радиоактивного излучения и тепла) к газовой смеси, содержащей углерод, водород, кислород и азот, в восстановительной среде образуются все важные детали для построения биовеществ: аминокислот, гидроокисей, Сахаров, пуриновых и пиримидиновых оснований. С инициацией химических процессов на планете Земля началась фаза химической эволюции около 4-4,5 млрд лет назад. Основным результатом первой стадии химической эволюции стала интеграция простых атомов H, C, N, P,... в относительно сложные органические молекулы. Результатом химической эволюции стала интеграция атомов химических элементов во многие сложные органические молекулы,

а молекул — во многие еще более сложные цепные молекулы. Важную роль в этих превращениях играли следующие химические элементарные процессы: гомогенный и гетерогенный катализ, автокатализ, бистабильность и колебания.

Следующим шагом было образование более крупных полимеров из малых органических мономеров, опять же без участия живых организмов. Видимо, на первичной Земле образование полимеров со случайной последовательностью аминокислот или нуклеотидов могло происходить при испарении воды в водоемах, оставшихся после отлива. Если полимер образовался, он способен влиять на образование других полимеров.

Сложную химическую эволюцию обычно выражают следующей обобщенной схемой: атомы —> простые соединения —> простые биоорганические соединения —> макромолекулы —> организованные системы. Следующим этапом после химической эволюции элементов является биохимическая эволюция.

Жизнь как особая форма существования материи характеризуется двумя отличительными свойствами — самовоспроизведением и обменом веществ с окружающей средой. На свойствах саморепродукции и обмена веществ строятся все современные гипотезы возникновения жизни. Наиболее широко признанные гипотезы — коацерватная и генетическая.

Коацерватная гипотеза (биохимическая эволюция). В 1924 г. русский ученый Александр Иванович Опарин впервые сформулировал основные положения концепции предбиологической эволюции и затем, опираясь на эксперименты Бунгенберга де Йонга, развил эти положения в коацерватной гипотезе происхождения жизни. Основу гипотезы составляет утверждение, что начальные этапы биогенеза были связаны с формированием белковых структур. Первые белковые структуры (протобионты, по терминологии Опарина) появились в период, когда молекулы белков отграничивались от окружающей среды мембраной. Эти структуры могли возникнуть из первичного "бульона" благодаря коацервации — самопроизвольному разделению водного раствора полимеров на фазы с различной их концентрацией. Процесс коацервации приводил к образованию микроскопических капе-

лек с высокой концентрацией полимеров. Часть этих капелек поглощали из среды низкомолекулярные соединения: аминокислоты, глюкозу, примитивные катализаторы. Взаимодействие молекулярного субстрата и катализаторов уже означало возникновение простейшего метаболизма внутри протобионтов.

Схема образования коацерватной капли следующая: молекула белка в растворе сближение молекул белка с потерей воды образование коацерватной капли.

Обладавшие метаболизмом капельки включали в себя из окружающей среды новые соединения и увеличивались в объеме. Когда коацерваты достигли размера, максимально допустимого в данных физических условиях, они распадались на более мелкие капельки, например, под действием волн, как это происходит при встряхивании сосуда с эмульсией масла в воде. Мелкие капельки вновь продолжали расти и затем образовывали новые поколения коацерватов. Постепенное усложнение протобионтов осуществлялось отбором таких коацерватных капель, которые обладали преимуществом в лучшем использовании вещества и энергии среды. Отбор как основная причина совершенствования коацерватов до первичных живых существ — центральное положение в гипотезе Опарина.

Генетическая гипотеза. Согласно этой гипотезе, вначале возникли нуклеиновые кислоты как матричная основа синтеза белков. Впервые ее выдвинул в 1929 г. Г. Меллер. Способность нуклеиновых кислот служить матрицами при образовании комплементарных цепей (например, синтез и-РНК на ДНК) — наиболее убедительный аргумент в пользу представлений о ведущем значении в процессе биогенеза наследственного аппарата и, следовательно, в пользу генетической гипотезы происхождения жизни. Гены наследственности располагаются в ДНК и передача информации идет в направлении ДНК-РНК-белок. Изменение пути передачи информации РНК-белок-ДНК произошло в результате эволюции РНК.

У английского ученого Дж. Холдейна "живыми или полуживыми объектами" назывались большие молекулы, способные к созданию своих копий. Живые тела, существующие на

Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот. Вещество обрело тем самым важнейшее свойство самовоспроизведения и вступило в новую фазу эволюции — фазу самоорганизации через самовоспроизведения. Здесь большое значение имело образование молекулярного языка биополимеров. Элементарный язык биологической системы — это химический язык. Он имеет алфавит, состоящий из различных сортов нуклеотидов и аминокислот. Он позволяет выстраивать последовательности символов различной длины — единицы мутации, кодирования и рекомбинации. Возникали все более сложные репликативные системы, конкурировавшие друг с другом.

Возникновение протоклеток положило начало биологической эволюции вещества. После того как углеродистые соединения образовали "первичный бульон", могли уже организоваться биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты, обладающие свойством самопроизводства себе подобных. Механизм естественного отбора действовал на самых ранних стадиях зарождения органических веществ — из множества образующихся веществ сохранялись устойчивые к дальнейшему усложнению. Как показывает синергетика, энергия имела для возникновения жизни не меньшее значение, чем вещество. Некоторые из первых стадий эволюции к жизни были связаны с возникновением механизмов, способных поглощать и трансформировать химическую энергию, как бы выталкивая систему в сильно неравновесные условия.

Начало жизни на Земле положило появление нуклеиновых кислот, способных к воспроизводству белков. Однако до сих пор остаются неясными детали перехода от сложных органических веществ к простым живым организмам. Теория биохимической эволюции предлагает лишь общую схему. В соответствии с ней на границе между коацерватами — сгустками органических веществ — могли выстраиваться молекулы сложных углеводов, что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коацерватам стабильность. В результате включения в коацерват молекулы, способной к

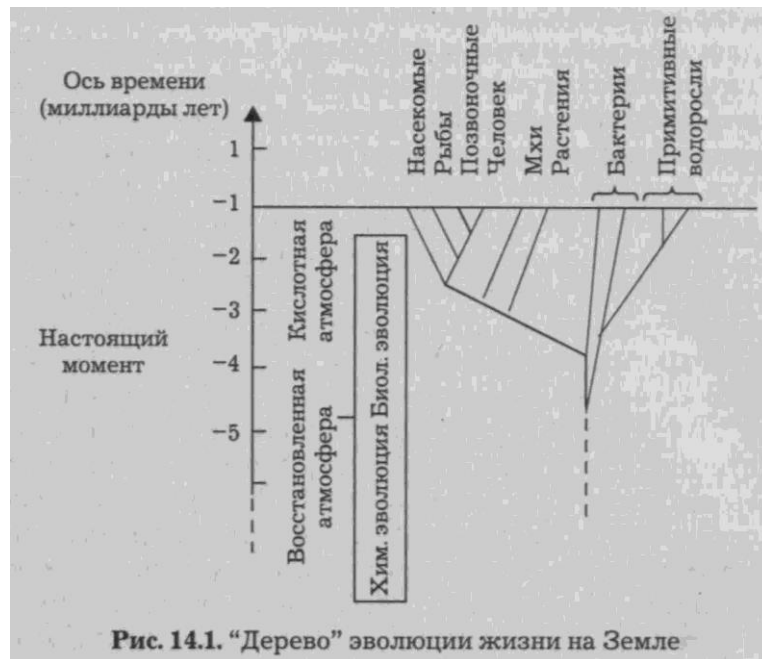
самовоспроизведению, могла возникнуть примитивная клетка, способная к росту. Следующим шагом в организации живого должно было стать образование мембран, которые отграничивали смеси органических веществ от окружающей среды. С их появлением и получается клетка — "единица жизни", главное структурное отличие живого от неживого.

Основные этапы биогенеза. Процесс биогенеза включал три основных этапа: возникновение органических веществ, появление сложных полимеров (нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов), образование первичных живых организмов. Клетка — основная элементарная единица жизни, способная к размножению, в ней протекают все главные обменные процессы (биосинтез, энергетический обмен и др.). Поэтому возникновение клеточной организации означало появление подлинной жизни и начало биологической эволюции.

Все основные процессы, определяющие поведение живого организма, протекают в клетках. Тысячи химических реакций происходят одновременно, для того чтобы клетка могла получить необходимые питательные вещества, синтезировать специальные биомолекулы и удалить отходы. Огромное значение для биологических процессов в клетке имеют ферменты. Синтез белка осуществляется в клетке. Величина клеток — от микрометра до более одного метра. Клетки могут быть дифференцированными (нервные, мышечные и т. д.). Большинство из них обладают способностью восстанавливаться, но некоторые, например, нервные — нет или почти нет.

На рис. 14.1 изображено "дерево" эволюции жизни на нашей планете.

Рассмотрим подробнее особенности эволюции на клеточном уровне организации жизни. Наибольшее различие существует не между растениями, грибами и животными, а между организмами, обладающими ядром (эукариоты) и не имеющими его (прокариоты). Последние представлены низшими организмами — бактериями и сине-зелеными водорослями (цианобактерии, или цианеи), все остальные организмы — эукариоты, которые сходны между собой по внутриклеточной организации, генетике,



биохимии и метаболизму. Различие между прокариотами и эукариотами заключается еще и в том, что первые могут жить как в бескислородной (облигатные анаэробы), так и в среде с разным содержанием кислорода (факультативные анаэробы и аэробы), в то время как для эукариотов, за немногим исключением, обязателен кислород. Все эти различия имели существенное значение для понимания ранних стадий биологической эволюции. Сравнение прокариот и эукариот по потребности в кислороде приводит к заключению, что прокариоты возникли в период, когда содержание кислорода в среде изменялось. Ко времени же появления эукариот концентрация кислорода была высокой и относительно постоянной. Первые фотосинтезирующие организмы появились около 3 млрд лет назад, а значительное количество данных об ископаемых эукариотах позволяет сказать, что их возраст составляет около 1,5 млрд лет. Можно предположить, что первая микрофлора и первая микрофауна появились

3,3-4 млрд лет назад. Первыми микроорганизмами могли быть бактерии или примитивные водоросли. В дальнейшем важную роль начали играть трофические связи. Основанием возникшей трофической цепи служили автотрофные растения, которые производили молекулярные структурные единицы из воды и молекул газа под действием солнечного света. Они медленно изменяли состав атмосферы. Из неассимилирующих организмов шанс на выживание имели лишь паразиты на протофлоре. Так появился принцип гетеротрофии, под которым понимают любой организм (травоядный, плотоядный или всеядный), который питается другими организмами.

Возникновение содержащей кислород атмосферы, начавшееся 2 млрд лет назад, глубоко изменило условия существования жизни. Для живых существ той далекой эпохи кислород был высокотоксичным газом, который в результате процесса окисления мог привести к разрушению органических молекул. Мутация и отбор помогли преодолеть и эту смертельную угрозу: возникли живые организмы, снабженные сначала примитивными органами, а впоследствии жабрами и легкими, которые развили высокоэффективные механизмы обмена веществ для атмосферы, содержащей кислород.

Собственно биологическая эволюция начинается с возникновения клеточной организации и в дальнейшем идет по пути совершенствования строения и функций клетки, образования многоклеточной организации, разделения живого на царства растений, животных, грибов с последующей их дифференциацией на виды.

Основные положения естественно-научной теории происхождения жизни следующие.

1. Органические вещества сформировались из неорганических под действием физических факторов среды.

2. Органические вещества взаимодействовали, образуя все более сложные вещества, в результате чего возникли ферменты и самовоспроизводящиеся системы — свободные гены.

3. Свободные гены соединялись с другими высокомолекулярными органическими веществами.

4. Вокруг них стали образовываться белково-липидные мембраны.

5. Возникли клетки.

6. Из гетеротрофных организмов развились автотрофные.

Основные этапы развития жизни на Земле представлены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Основные этапы развития жизни на Земле

Реальная шкала времени	Относительная шкала времени	Этапы развития жизни
3,5—4 млрд л. н.	1 января	Процессы, приведшие к образованию органических молекул
	1 февраля	Свидетельства существования первых бактерий
	1 марта	Бактериальные колонии
3 млрд л. н.	1 апреля	Нитчатые фотосинтезирующие водоросли
	1 мая	Рост разнообразия бактерий
2,5 млрд л. н.	1 июня	Высокое разнообразие бактерий
2 млрд л. н.	1 июля	Развитие сложноорганизованных клеток
1,5 млрд л. н.	1 сентября	Первые клетки, характерные для живых и высших растений
1 млрд л. н.	1 октября	Рост разнообразия жизненных форм в морях, появление всех типов беспозвоночных
500 млн л. н.	1 ноября	Начало освоения суши, первые челюстноротые рыбы, развитие позвоночных
300 млн л. н.	1 декабря	Развитие млекопитающих, динозавры, амфибии
100 млн л. н.		Господство млекопитающих
11 млн л. н.	31 декабря 8 ч	Начало эволюции человека
5 млн л. н.	16 ч	Ископаемые останки людей
	23 ч 59 м 58 с	Начало промышленной революции

Вопрос о закономерном или случайном характере возникновения живых существ является самым трудным для принятия различных концепций происхождения жизни. В гипотезе

Опарина жизнь рассматривается как закономерный результат эволюции материи во Вселенной. Альтернативные гипотезы происхождения, отрицающие это положение, постулируют либо predetermined (американский биофизик Кенъон), либо случайный характер возникновения первичных организмов.

Если группа атомов в присутствии источника энергии образует некую стабильную структуру, то она имеет тенденцию к сохранению структуры. Самая ранняя форма конкуренции состояла в отборе стабильных форм и отбрасывании нестабильных. В этом нет ничего таинственного.

Одна из главных причин кризиса в решении проблемы происхождения жизни — отсутствие четкой границы между тремя понятиями: жизнь, живое и часть живого. Причем очень трудно одновременно изучать структуру и функцию: когда изучается структура (физико-химическими методами), то исчезает функция и наоборот.

Возраст самых древних организмов — клеток без ядер, имеющих нити ДНК, похожих на бактерии и сине-зеленые водоросли — составляет около 3 млрд лет. Около 2 млрд лет тому назад в клетке появляется ядро. Одноклеточные организмы с ядром называются простейшими. Их 25-30 тыс. видов. Самые простые из них — амебы, инфузории с ресничками. Примерно 1 млрд лет тому назад появились первые многоклеточные организмы и произошел выбор растительного и животного образа жизни.

Таким образом, эмпирические факты и теоретические концепции науки достаточно убедительно указывают, что современному уровню научного знания соответствует абиогенный характер возникновения и развития жизни. В рамках этой концепции предбиологическая эволюция имеет три фазы: первая — фаза элементарных полимеров, когда происходит абиогенный синтез простейших органических соединений; вторая фаза — полимеризация, ведущая к образованию предшественников нынешних живых клеток; третья — биохимическая фаза, в которой совершается возникновение генетического кода, биосинтез закодированных белков и переход к биологической эволюции.

14.2. Классификация уровней биологических структур и организация живых систем

Клетка — естественная крупинка жизни, как атом — естественная крупинка неорганизованной материи.

Тейяр де Шарден

Рассмотрение явлений живой природы по уровням биологических структур дает возможность изучения возникновения и эволюции живых систем на Земле от простейших и менее организованных систем к более сложным и высокоорганизованным. Первые классификации растений, наиболее известной из которой была система Карла Линнея, а также классификация животных Жоржа Бюффона носили в значительной мере искусственный характер, поскольку не учитывали происхождения и развития живых организмов. Тем не менее они способствовали объединению всего известного биологического знания, его анализу и исследованию причин и факторов происхождения и эволюции живых систем. Без такого исследования невозможно было бы, во-первых, перейти на новый уровень познания, когда объектами изучения биологов стали живые структуры сначала на клеточном, а затем на молекулярном уровне. Во-вторых, обобщение и систематизация знаний об отдельных видах и родах растений и животных требовали перехода от искусственных классификаций к естественным, где основой должен стать принцип генезиса, происхождения новых видов, а следовательно, разработана теория эволюции. В-третьих, именно описательная, эмпирическая биология послужила тем фундаментом, на основе которого сформировался целостный взгляд на многообразный, но в то же время единый мир живых систем.

Уровни организации живого — объекты изучения биологии, экологии и физической географии — показаны на рис. 14.2.

Представление о структурных уровнях организации живых систем сформировалось под влиянием открытия клеточной теории строения живых тел. В середине прошлого века клетка

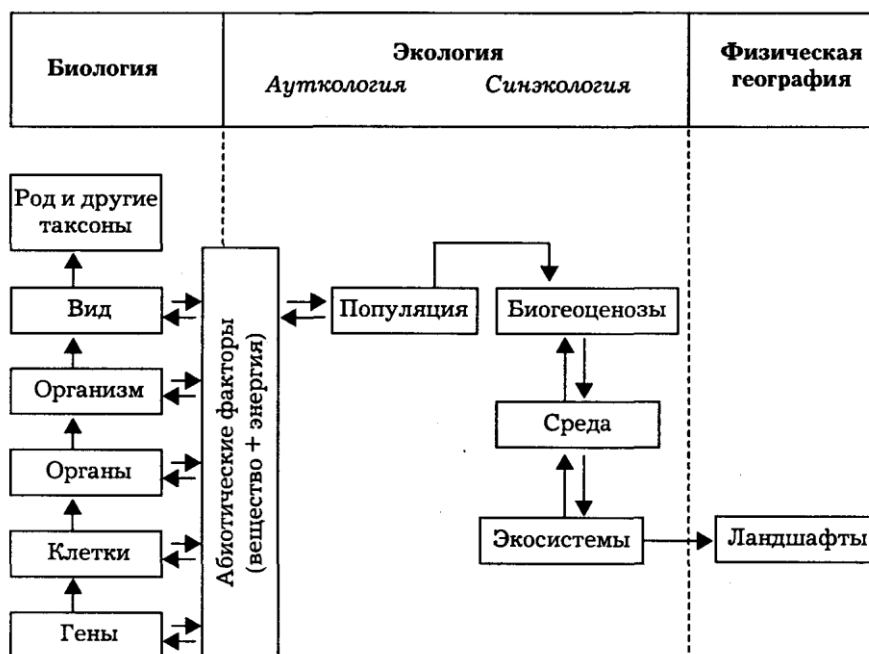


Рис. 14.2. Уровни организации живого

рассматривалась как элементарная единица живой материи наподобие атома неорганических тел. Проблема строения живого, изучаемого молекулярной биологией, совершила научную революцию с середины прошлого столетия. Во второй половине XX века были выяснены вещественный состав, структура клетки и процессы, происходящие в ней.

Каждая клетка содержит в середине плотное образование, названное **ядром**, которое плавает в "полужидкой" **цитоплазме**. Все вместе они заключены в **клеточную мембрану**. Клетка нужна для **аппарата воспроизводства**, который находится в ее ядре. Без клетки генетический аппарат не мог бы существовать. Основное вещество клетки — **белки**, молекулы которых обычно содержат несколько сот **аминокислот** и похожи на бусы или браслеты с брелочками, состоящими из главной и боковой цепей.

У всех живых видов имеются свои особые белки, определяемые генетическим аппаратом.

Попадающие в организм белки расщепляются на аминокислоты, которые затем используются им для построения собственных белков. **Нуклеиновые кислоты** создают ферменты, управляющие реакциями. Хотя в состав белков человеческого организма входят 20 аминокислот, но совершенно обязательны для него только 9 из них. Остальные, по-видимому, вырабатываются самим организмом. Характерная особенность аминокислот, содержащихся не только в человеческом организме, но и в других живых системах (животных, растениях и даже вирусах), состоит в том, что все они являются левовращающими плоскость поляризации изомерами, хотя в принципе существуют аминокислоты и правого вращения.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение механизмов воспроизводства и наследственности в надежде обнаружить в них то специфическое, что отличает живое от неживого. Наиболее важным открытием на этом пути было выделение из состава ядра клетки богатого фосфором вещества, обладающего свойствами кислоты и названного впоследствии **нуклеиновой кислотой**. В дальнейшем удалось выявить углеводный компонент этих кислот, в одном из которых оказалась Д-дезоксирибоза, а в другом Р-рибоза. Соответственно этому первый тип кислот стали называть **дезоксирибонуклеиновыми кислотами**, или (сокращенно) **ДНК**, а второй тип — **рибонуклеиновыми**, или **РНК**.

Роль ДНК в хранении и передаче наследственности была выяснена после того, как в 1944 г. американским микробиологам удалось доказать, что выделенная из пневмококков свободная ДНК обладает свойством передавать **генетическую информацию**. В 1953 г. Джеймсом Уотсоном и Френсисом Криком была предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о строении молекулы ДНК как материального носителя информации. В 1960-е гг. французскими учеными Франсуа Жакобом и Жаком Моно была решена одна из важнейших проблем генной активности, раскрывающая фундаментальную особенность

функционирования живой природы на молекулярном уровне. Они доказали, что по своей функциональной активности все гены разделяются на "регуляторные", кодирующие структуру регуляторного белка, и "структурные гены", кодирующие синтез ферментов.

Воспроизводство себе подобных и наследование признаков осуществляется с помощью наследственной информации, материальным носителем которой являются молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). ДНК состоит из двух цепей, идущих в противоположных направлениях и закрученных одна вокруг другой наподобие электрических проводов. Напоминает винтовую лестницу. Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка, называют геном. Гены расположены в хромосомах (части ядер клеток). Было доказано, что основная функция генов состоит в кодировании синтеза белков. Механизм передачи информации от ДНК к морфологическим структурам дал известный физик-теоретик Г. Гамов, указав, что для кодирования одной аминокислоты требуется сочетание из трех нуклеотидов ДНК.

Молекулярный уровень исследования позволил показать, что основным механизмом изменчивости и последующего отбора являются мутации, возникающие на молекулярно-генетическом уровне. Мутация—это частичное изменение структуры гена. Конечный эффект ее—изменение свойств белков, кодируемых мутантными генами. Появившийся в результате мутации признак не исчезает, а накапливается. Мутации вызываются радиацией, химическими соединениями, изменением температуры, наконец, могут быть просто случайными. Действие естественного отбора проявляется на уровне живого, целостного организма.

Поскольку минимальной самостоятельной живой системой можно считать клетку, постольку изучение онтогенетического уровня следует начать именно с клетки. В настоящее время различают три типа онтогенетического уровня организации живых систем, которые представляют собой три линии развития живого мира: 1) прокариоты — клетки, лишённые ядер; 2) эукариоты, появившиеся позднее, — клетки, содержащие ядра; 3) археобакте-

рии — клетки которых сходны, с одной стороны, с прокариотами, с другой — эукариотами. По-видимому, все эти три линии развития исходят из единой первичной минимальной живой системы, которую можно назвать протоклеткой. Структурный подход к анализу первичных живых систем на онтогенетическом уровне нуждается в дополнительном освещении функциональных особенностей их жизнедеятельности и обмена веществ.

Онтогенетический уровень организации относится к отдельным живым организмам — **одноклеточным и многоклеточным**. В разных организмах число клеток существенно отличается. В соответствии с числом клеток все живые организмы разделяют на пять царств: бактерии, водоросли, грибы, растения, животные.

Первые живые организмы имели одиночные клетки, затем эволюция жизни усложнила структуру и число клеток. Одноклеточные организмы, имеющие простое строение, называются **монерами** (греч. *moneres* — простой), или бактериями. Одноклеточные организмы с более сложной структурой относят к царству **водорослей**, или **протистов**. Среди водорослей есть и простейшие многоклеточные организмы. К многоклеточным относят **растения, грибы и животных**. Живые организмы классифицируют в связи с их эволюционным родством, поэтому считается, что многоклеточные имели своими предками протисты, а те произошли от монер. Но три многоклеточных царства произошли от разных протистов. Каждая группа многоклеточных организмов — растений, животных и грибов — имеет свой план строения, приспособленный к своему образу жизни, а у каждого вида в процессе эволюции сложилась определенная разновидность этого достаточно гибкого плана. Почти каждый вид состоит из различающихся по строению, но в то же время кровно родственных групп индивидов. Вид представляет собой не простое собрание индивидов, а сложную систему группировок, соподчиненных и тесно связанных друг с другом.

Известный немецкий биолог Э. Геккель открыл биогенетический закон, согласно которому **онтогенез** в краткой форме повторяет **филогенез**, т. е. отдельный организм в своем

индивидуальном развитии в сокращенной форме повторяет историю рода.

Популяционный уровень начинается с изучения взаимосвязи и взаимодействия между совокупностями особей одного вида, которые имеют единый генофонд и занимают единую территорию. Такие совокупности, или скорее системы живых организмов, составляют определенную популяцию. Очевидно, что популяционный уровень выходит за рамки отдельного организма, и поэтому его называют надорганизменным уровнем организации.

Популяция представляет собой первый надорганизменный уровень организации живых существ, который хотя и тесно связан с их онтогенетическим и молекулярными уровнями, но качественно отличается от них по характеру взаимодействия составляющих элементов, ибо в этом взаимодействии они выступают как целостные общности организмов. По современным представлениям, именно популяции служат элементарными единицами эволюции.

Второй надорганизменный уровень организации живого составляет различные системы популяций, которые называют **биоценозами** или **сообществами**. Они являются более обширными объединениями живых существ и в значительно большей мере зависят от небиологических, или абиотических, факторов развития.

Третий надорганизменный уровень организации содержит в качестве элементов разные биоценозы и в еще большей степени характеризуется зависимостью от многочисленных земных и абиотических условий своего существования (географических, климатических, гидрологических, атмосферных и т. п.). Для его обозначения применяется термин **биогеоценоз**, или **экологическая система** (экосистема).

Четвертый надорганизменный уровень организации возникает из объединения самых разнообразных биогеоценозов и теперь называется **биосферой**.

Для характеристики **трофического** (пищевого) взаимодействия популяции и биоценозов существенное значение имеет

общее правило, согласно которому, чем длиннее и сложнее пищевые связи между организмами и популяциями, тем более жизнеспособной и устойчивой является живая система любого (надорганизменного) уровня. Отсюда становится ясным, что с биологической точки зрения на таком уровне решающее значение приобретает трофический характер взаимодействия между составляющими живую систему элементами.

14.3. Генная инженерия и биотехнология

*Многие вещи нам непонятны не
потому, что наши понятия слабы;
но потому, что эти вещи не входят
в круг наших понятий.*

Козьма Прутков

Результаты исследования молекулярной генетики и молекулярной биологии являются иллюстрацией лидирующего состояния биологии в современном естествознании. На их базе возникли новые научные направления, такие как генная инженерия и биотехнология.

Генетическая инженерия — эта система экспериментальных приемов, позволяющих конструировать искусственные генетические структуры в виде гибридных молекул ДНК. Суть генетической инженерии сводится к переносу в организм чужеродных генов, которые могут сообщать им полезные свойства. Геном является определенный участок молекулы ДНК, который хранит и передает наследственную информацию. Молекулы ДНК представляют собой длинные полимерные молекулы — полинуклеотиды, состоящие из мономерных звеньев. Элементарными частицами генетического материала являются мономерные звенья полимерной молекулы ДНК. Гены содержат в себе такую информацию, код или своего рода программу, по указанию которой происходит синтез белков в клетках данного организма. На линейной молекуле ДНК отдельные гены разделены регуляторными участками, и они не могут перекрываться. Молекулу ДНК

можно разбить на непрерывные участки (гены), на каждом из которых записана информация о последовательности аминокислот одного белка. Если найти методы, позволяющие резать ДНК на точно необходимые куски, отделять разные куски друг от друга, затем их сшивать по усмотрению экспериментатора и переносить их в клетку другого организма, то можно заставить эту клетку синтезировать не свойственный ему (т. е. чужой) белок.

Итак, процедуры генетической инженерии сводятся к тому, что из набора фрагментов ДНК, содержащих нужный ген, собирают гибридную структуру, которую затем вводят в клетку. Введенная генетическая информация экспрессируется, что приводит к синтезу нового продукта. Таким образом, вводя в клетку новую генетическую информацию в виде гибридных молекул ДНК, можно получить измененный организм. Синтезирование нужных белков, гормонов, вакцин и других необходимых для медицины и сельского хозяйства соединений методами молекулярной биологии и есть основная задача генной инженерии. Сложной задачей здесь является поиск методов резки молекулы ДНК с точностью до миллиардных долей метра, с тем чтобы получить все одинаковые молекулы в заданном образце строго в одних и тех же местах. После долгих исследований ученые установили, что в роли такого высокоточного скальпеля могут быть применены ферменты рестриктазы. Они узнают самые разные последовательности нуклеотидов и разрезают их в нужном месте. Полученные куски затем сшивают с помощью другого фермента, называемого ДНК-лигазой, способного залечивать разрывы в цепи ДНК. Таким путем, искусственно можно получить какие угодно комбинации генов, которые в естественных условиях нельзя реализовать из-за существующих барьеров на межвидовое скрещивание.

Полученная путем перетасовки генов гибридная молекула ДНК должна размножаться в составе живой клетки и менять ее генетические свойства. В этом особая роль принадлежит плазмидам. Оказывается, в клетках бактерий, дрожжей и высших организмов кроме основных молекул ДНК, не переходящих из одной клетки в другую, присутствуют еще и маленькие молеку-

лы ДНК — плазмиды, которыми клетки легко обмениваются. Если из бактерий извлечь плазмиды и встроить в них фрагменты чужой молекулы ДНК, а затем залечить раны и смешать полученные гибридные плазмиды с бактериальными клетками, то такие гибридные плазмиды окажутся биологически активными и будут размножаться. Далее в результате размножения гибридных плазмид с бактерией-хозяйкой удастся многократно умножить (тиражировать) встроенный чужеродный фрагмент молекулы ДНК. Этот прием генной инженерии получил название **клонирования**. Метод клонирования с помощью плазмид дает молекулярной биологии уникальную возможность перетасовки генов бактерий, вирусов, дрожжей и высших организмов — человека и животных.

Еще несколько лет назад ученые задавали вопрос, можно ли создать сорта, сбалансированные по составу аминокислот, устойчивые к холоду, засухе, не поражаемые вредителями. Сегодня можно с уверенностью утверждать, что такие трансгенные растения уже вышли в поле. Областей применения трансгенных растений довольно много. На уровне лабораторных экспериментов ведутся работы по получению растений, устойчивых к холоду, тяжелым металлам, повышенному содержанию солей и др. Трансгенные растения, устойчивые к гербицидам (химическим соединениям, которые используют для борьбы с сорняками), к вирусам, растения с повышенным содержанием масел и незаменимых аминокислот уже выращивают на миллионах гектаров. Не менее интересен и другой аспект работ — получены трансгенные растения с измененными декоративными свойствами. Поскольку основные трансгенные формы кукурузы, сои, хлопчатника с устойчивостью к гербицидам и насекомым хорошо себя зарекомендовали, есть все основания ожидать, что площадь под генно-инженерными растениями в будущем увеличится.

Среди последних достижений инженерной, или конструктивной, биологии следует упомянуть успешное клонирование млекопитающих (овцы, свиньи, коровы), создание первых искусственных хромосом человека, создание трансгенных мышей.

Если в плазму встроить ген (фрагмент ДНК) человека, то такая плаزمиды внутри бактерии или дрожжей начинает вырабатывать белок, отвечающий человеческому гену. Разработка технологии, заставляющей бактериальные или дрожжевые клетки синтезировать в больших количествах необходимые человеку для различных целей белки, положило начало новой биотехнологической эре.

Услугами генной инженерии особенно успешно пользуются фармацевты, для которых этот метод дает сравнительно дешевые, но жизненно необходимые гормоны, такие как инсулин, интерферон, гормоны роста и другие, имеющие белковую природу. По заказу фармацевтов генными инженерами налажено производство человеческого гормона инсулина (вместо ранее применяемого животного инсулина), играющего важную роль в борьбе с сахарным диабетом. Методом генной инженерии получают также достаточно дешевый и чистый человеческий интерферон — белок, обладающий универсальным противовирусным действием, антиген вируса гепатита В.

Другими важнейшими областями, в которых успешно применяются достижения генной инженерии, являются медицина и сельское хозяйство. На наших глазах современная биология превратилась в науку, которая дала начало технологиям, преобразившим производство. **Биотехнология** стала реальной производительной силой. Питание и медицинское обслуживание возрастающего быстрыми темпами населения Земли представляют собой наиболее важные проблемы, стоящие перед человечеством, и решать их скорее всего придется методами биотехнологии.

Производство и применение вакцин против вирусных заболеваний позволили медиками ликвидировать полностью эпидемии чумы и оспы, от которых раньше умирали миллионы людей. Метод генной инженерии, в отличие от других методов, позволяет получить абсолютно безвредную (не содержащую инфекционного начала) вакцину. Ведутся также работы по производству вакцин от гриппа, гепатита и других вирусных заболеваний человека.

В настоящее время для производства интерферона и гормона роста в качестве источника плазмидов вместо бактерий широко применяются также дрожжи, которые на эволюционной лестнице стоят где-то между бактериями и высшими организмами. Еще одной задачей, успешно решаемой в настоящее время биотехнологией, является производство белка, содержащего незаменимую аминокислоту лизин, и используемого в качестве полноценных кормовых добавок для животных.

В биотехнологии применяются не только методы генной инженерии, но и методы клеточной инженерии. Суть метода **клеточной инженерии** сводится к следующему: из организма искусственно выделяют клетки, которые затем размножают в специально подобранных питательных средах. Полученные таким путем клеточные культуры используются для производства ценных лекарственных веществ и для гибридизации клеток, которые невозможно воспроизвести обычным половым путем. Методом гибридизации соматических клеток получены новые формы культурных растений (томаты, картофель). Гибридизация же животных клеток (например, раковых клеток и клеток крови — лимфоцитов) применяется для выработки ценных медицинских препаратов.

14.4. Проблемы происхождения жизни во Вселенной

*Река времени в своем стремленье
Уносит все дела людей. И топит в
пропасти забвенья Народы,
царства и царей.*

Г. Державин

Представление о наличии жизни во Вселенной исторически менялось и всегда интересовало человечество. Взгляды о бесчисленности обитаемых миров получили широчайшее распространение в XVIII-XIX вв. Особую известность и популярность завоевали труды Б. Фонтенеля, К. Фламмарiona и др. В эту эпоху населенными считались практически все небесные тела

от Луны и планет до комет и Солнца. Об обитателях Луны, например, писали Кеплер, Ньютон, а позднее, уже на пороге XIX в., У. Гершель допускал возможность существования жизни на Солнце. Проблема происхождения жизни как предмет научных исследований возникла во второй половине XIX в. Как отмечал М. Кельвин, еще Ч. Дарвин совершенно отчетливо ставил вопрос о естественном происхождении жизни на Земле в отдаленном прошлом и говорил об отсутствии условий для этого теперь, при наличии развитой жизни.

В начале XX в., однако, возобладало мнение, что жизнь — привилегия лишь планет типа Земля. А ставшая общепринятой космологическая теория Джинса, согласно которой планеты возникают в результате тесного сближения двух звезд — события очень редкого, привела к заключению о крайней редкости планетных систем и тем более жизни в звездном мире.

В 20-х гг. XX в. существенно изменилась астрономическая картина мира, и в том же десятилетии в трудах А. И. Опарина в СССР и Дж. Холдейна в Англии стала формироваться первая научная концепция происхождения жизни.

Солнце, в соответствии с расчетами, основанными на современной теории эволюции звезд, образовалось около 5 млрд лет назад (через 8-10 млрд лет после звезд 1-го поколения) из газопылевой среды, уже обогащенной тяжелыми элементами. П. Дебай, а также В. Г. Фесенков подчеркнули, что у звезд 1-го поколения, составляющих 90% всех звезд Галактики, не может быть земноподобных планет, а следовательно, и жизни. Однако остальные 10%, составляющие население последующих поколений звезд Галактики (это $\approx 10^{10}$ объектов), могут обладать планетами типа Земля. Планеты рождаются в ходе самого процесса звездообразования, и планетные системы могут быть у значительной доли звезд — до 2/3 общего числа звезд 2-го и последующих поколений могут обладать земноподобными планетами. Это значит, что необходимые для возникновения и развития жизни условия выполняются в галактиках, подобных нашей, не при уникальном сочетании редких событий, а как

типичное явление. В пользу справедливости этого вывода свидетельствует медленное (обычно всего несколько км/с на экваторе) вращение большинства солнцеподобных звезд, ибо оно может быть истолковано как свидетельство наличия у них, как и у Солнца, планет, несущих основную (у них 98%) долю вращательного момента количества движения всей системы. Следовательно, образование земноподобных планет — естественный результат общегалактического космогонического процесса.

Коль скоро есть все основания предполагать, что планетных систем, сходных с Солнечной, в Галактике насчитывается несколько миллиардов, вполне естественно принять, что процесс жизни и ее эволюции там в общих, чертах по своему характеру сходен с тем, что было на Земле. Разумеется, не на каждой планете возможно зарождение и развитие жизни. Для этого необходимо учесть:

1. Планеты, на которых возможно зарождение и развитие жизни, не могут обращаться вокруг звезды слишком близко или слишком далеко. Необходимо, чтобы температуры их поверхностей были благоприятны для развития жизни. Учитывая, однако, что одновременно со звездой должно образоваться сравнительно большое число планет (скажем, ~ 10), с большой вероятностью можно ожидать, что хотя бы одна или две планеты будут обращаться на расстоянии, при котором температура лежит в нужных пределах.

2. Массы образовавшихся планет не должны быть ни слишком большими, ни слишком маленькими. В первом случае гигантские атмосферы этих планет, богатые водородом и его соединениями, исключают возможность развития жизни. Во втором случае за время эволюции атмосферы будут рассеиваться (подобно Меркурию). Однако, учитывая сравнительно большое число образующихся планет, можно ожидать, что некоторое, пусть малое, количество их будет обладать нужной массой. При этом необходимо, чтобы такие планеты одновременно удовлетворяли первому условию. Заметим, что первое и второе условия не являются независимыми.

3. Высокоорганизованная жизнь может быть только на планетах, обращающихся вокруг достаточно старых звезд, возраст которых насчитывает несколько миллиардов лет.

4. Звезда в течение нескольких миллиардов лет не должна существенно менять своей светимости. И этому условию удовлетворяет большинство интересующих нас звезд.

5. Звезда не должна быть двойной или кратной, ибо в противном случае орбитальное движение планет было бы существенно отлично от кругового, и резкие, если не катастрофические, изменения температуры поверхности планеты исключили бы возможность развития на ней жизни.

Другой, хотя и косвенный, но важный (и видимо, типичный для любой звездной системы) путь воздействия Галактики на происхождение и развитие жизни на Земле, — возмущающее влияние притяжения звезд, проходящих в соседстве с Солнцем, на кометы из "свит Солнца". На периферии Солнечной системы, возможно, движется до 10^{11} комет. Наша планета за свою историю испытала, по подсчетам ученых, около сотни столкновений с кометами; их суммарная масса могла составить достаточно заметную величину, равную примерно 1% массы земной атмосферы. Кометы богаты сложными химическими соединениями, включая органические, видимо, еще межзвездного происхождения, а также образовавшимися в период формирования солнечной системы. Их вклад в копилку первоначальной земной органики — основы предбиологической эволюции — мог быть существенным.

Совокупность свойств, наблюдаемых у нашей Вселенной (физическое состояние, химический состав, структура, расширение и связанное с ним красное смещение в спектрах далеких объектов), необходима для обеспечения возможности возникновения и существования в ней жизни. Итак, во Вселенной, естественно, возникают общие предпосылки для появления и развития жизни. Речь может и должна идти о жизни в тех ее рамках, в каких она известна нам. Именно поэтому специально обращалось внимание на необходимость для возникновения жизни предварительного образования во Вселенной C, O, N, P и

др., а также тяжелых элементов, без которых жизнь, во всяком случае известного нам типа, совершенно немыслима. Может быть, мы еще не заметили роли и даже существования некоторых фундаментальных для жизни космических факторов, открытие которых в будущем существенно изменит наши представления о распространенности во Вселенной условий, в которых может появиться жизнь.

ВЫВОДЫ

1. Среди известных гипотез происхождения жизни наиболее распространены: креационизм, самопроизвольное возникновение, вечное существование, панспермия, биохимический путь.

2. Для научного изучения происхождения жизни необходимы прежде всего данные о физико-химических условиях на ранней Земле. Такие данные связаны как с геологической эволюцией планеты, так и с эволюцией химических элементов Солнечной системы и солнечной активностью.

3. Из большого числа химических элементов для жизни необходимы только 16, а водород, углерод, кислород и азот составляют почти 99% живой материи. Уникальными свойствами обладает углерод, и наша жизнь называется углеродной, или органической. Четырехвалентность углерода приводит к огромному числу его соединений, которыми занимается органическая химия. Углерод образует сложные молекулы, представляющие собой кольца и цепи, обеспечивающие разнообразие органических соединений.

4. Аминокислоты — важный для жизни класс органических соединений. В живых организмах они используются для синтеза белков: растения могут синтезировать их из простых веществ, а в животные организмы они должны поступать с пищей, поэтому их называют незаменимыми. Из четырех нуклеотидов построены и другие крупные молекулы — нуклеиновые кислоты, тоже входящие в состав живой клетки. Нуклеиновые кислоты представляют собой двухцепочечные молекулы.

5. Современные научные гипотезы происхождения жизни связаны с образованием в определенных условиях более слож-

неорганизованных молекул-коагулянтов, гелей коацерватов. У этих коллоидных образований, как считали Опарин и Холдейн, на поверхности могут происходить процессы, напоминающие метаболизм живых организмов. Коацерваты способны делиться на части, увеличиваться в размерах, поглощать более простые молекулы. Гипотеза Опарина—Холдейна проверялась на установке Меллера, где искровой разряд пропусклся через смесь метана, аммиака, водорода и воды, что имитировало условия первичной Земли. Были синтезированы простейшие аминокислоты. Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самопроизводящие системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот.

Вопросы для контроля знаний

1. *Какие гипотезы происхождения живой материи вам известны? Дайте оценку гипотезе панспермии.*
2. *Какими признаками отличается живое от неживого? Какие аналогии между живой и неживой материей можно провести?*
3. *Охарактеризуйте гипотезу Опарина-Холдейна.*
4. *В чем состояли главные предположения Л. Пастера относительно возникновения жизни?*
5. *Дайте определение жизни исходя из разных позиций.*
6. *Охарактеризуйте физико-химические условия на ранней Земле до появления реакций фотосинтеза и свяжите их с существующими гипотезами происхождения жизни.*
7. *Как вы оцениваете вероятность наличия жизни во Вселенной?*
8. *Можно ли отнести вирусы к живым организмам? Обоснуйте ответ.*
9. *Какую роль играют молекулы ДНК в передаче наследственности и как был расшифрован генетический код?*
10. *Какую функцию выполняет молекула ДНК?*
11. *Как осуществляется процесс воспроизведения информации, хранимой в ДНК?*
12. *Кто и когда раскрыл структуру носителя наследственности?*
13. *Что является предметом исследования генной инженерии?*
14. *Охарактеризуйте структуру молекулы ДНК.*
15. *Какой первый препарат был получен с помощью генной инженерии?*

16. Назовите основные достижения генной инженерии.
17. Что означает утверждение: наследственный аппарат не стареет?
18. Чем характеризуется индивидуальная последовательность ДНК в геноме человека?
19. Можно ли с помощью анализа структуры генома провести идентификацию личности?
20. Что дает генная инженерия для криминалистики?

Глава 15. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

*Во все века жила, затаена, Надежда
— вскрыть все таинства природы.*
В. Брюсов

15.1. Доказательства эволюции живого

Понятие "эволюция" употребляется в разных смыслах, но большей частью отождествляется с развитием. В ходе изложения нам уже приходилось говорить о глобальной эволюции Вселенной, геологической эволюции и эволюции живой природы. Во всех этих случаях под эволюцией подразумевается процесс длительных, постоянных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся возникновением новых более сложных материальных систем, структур, форм и видов. Под эволюцией живого мира понимают процесс развития природы со времени возникновения жизни до настоящего времени. В ходе эволюции менялись и возникали новые виды, появлялись все более сложные формы живых организмов, причем живое приспосабливалось к изменениям окружающей среды. После возникновения одноклеточных ступень эволюции заключалась в образовании и прогрессивном развитии многоклеточного организма. Одной из важных предпосылок возникновения высокоразвитых форм жизни стало образование колоний клеток путем скопления клеток с ядрами (эукариотов) и распределения функций между ними. Возникновение примерно 0,6 млрд лет назад многоклеточных эукариотов привело к взрывоподобному увеличению числа высокоразвитых форм жизни. В течение сравнительно короткого

геологического периода появились многие виды беспозвоночных и макроскопические водоросли. Для того чтобы произошел этот эволюционный скачок, понадобились три шага: 1) развитие полового размножения; 2) открытие принципа гетеротрофии; 3) образование колоний клеток с распределением функций.

Всех многоклеточных разделяют на три царства: грибы (*Fungi*), растения (*Metaphyta*) и животные (*Metazoa*). Относительно эволюции грибов известно очень мало, так как палеонтологическая летопись их остается скудной. Два других царства намного богаче представлены ископаемыми остатками, дающими возможность довольно подробно восстановить ход их истории.

В протерозойскую эру (около 1 млрд лет назад) эволюционный ствол древнейших эукариот разделился на несколько ветвей, от которых возникли многоклеточные растения (зеленые, бурые и красные водоросли), а также грибы. Большинство из первичных растений свободно плавало в морской воде (диатомовые, золотистые водоросли), часть прикреплялась ко дну.

Существенным условием дальнейшей эволюции растений было образование почвенного субстрата на поверхности суши в результате взаимодействия бактерий и цианей с минеральными веществами и под влиянием климатических факторов. В конце силурийского периода почвообразовательные процессы подготовили возможность выхода растений на сушу (440 млн лет назад). Среди растений, первыми освоивших сушу, были псилофиты.

Самые ранние следы животных обнаруживаются в конце докембрия (700 млн лет назад). Предполагается, что первые животные произошли либо от общего ствола всех эукариот, либо от одной из групп древнейших водорослей.

Можно выделить четыре основных этапа эволюции: 1) биохимическая эволюция, начавшаяся примерно 3 млрд лет назад и закончившаяся к кембрию; 2) морфофизиологический прогресс, осуществляемый на протяжении 500 млн лет до настоящего времени; 3) эволюция психики, начавшаяся около 250 млн лет назад с момента появления насекомых; 4) эволюция сознания, связанная с возникновением и развитием человеческого общества на протяжении последних 500 тыс. лет.

Основными доказательствами эволюции живой природы являются следующие.

1. Доказательства единства происхождения органического мира:

1) все организмы, будь то вирусы, бактерии, растения, животные или грибы, имеют удивительно близкий элементарный химический состав;

2) у всех у них особо важную роль в жизненных явлениях играют белки и нуклеиновые кислоты, которые построены всегда по единому принципу и из сходных компонентов. Высокая степень сходства обнаруживается не только в строении биологических молекул, но и в способе их функционирования. Принципы генетического кодирования, биосинтеза белков и нуклеиновых кислот едины для всего живого;

3) у подавляющего большинства организмов в качестве молекул — аккумуляторов энергии используется АТФ, одинаковы также механизмы расщепления Сахаров и основной энергетический цикл клетки;

4) большинство организмов имеют клеточное строение.

2. Эмбриологические доказательства эволюции.

Отечественные и зарубежные ученые обнаружили и глубоко изучили сходства начальных стадий эмбрионального развития животных. Все многоклеточные животные проходят в ходе индивидуального развития стадии бластулы и гастролы. С особой отчетливостью выступает сходство эмбриональных стадий в пределах отдельных типов или классов. Например, у всех наземных позвоночных, так же и у рыб, обнаруживается закладка жаберных дуг, хотя эти образования не имеют функционального значения у взрослых организмов. Подобное сходство эмбриональных стадий объясняется единством происхождения всех живых организмов.

3. Морфологические доказательства эволюции:

а) особую ценность для доказательства единства происхождения органического мира представляют формы, сочетающие в себе признаки нескольких крупных систематических единиц. Существование таких промежуточных форм указывает на то,

что в прежние геологические эпохи жили организмы, являющиеся родоначальниками нескольких систематических групп. Наглядным примером этого может служить одноклеточный организм эвглена зеленая. Она одновременно имеет признаки, типичные для растений и для простейших животных;

б) строение передних конечностей некоторых позвоночных, несмотря на выполнение этими органами совершенно разных функций, в принципиальных чертах строения сходны. Некоторые кости в скелете конечностей могут отсутствовать, другие — срастаться, относительные размеры костей могут меняться, но их гомология совершенно очевидна. Гомологичными называются такие органы, которые развиваются из одинаковых эмбриональных зачатков сходным образом;

в) некоторые органы или их части не функционируют у взрослых животных и являются для них лишними — это так называемые рудиментарные органы, или рудименты. Наличие рудиментов, так же как и гомологичных органов, — тоже свидетельство общности происхождения.

4. Палеонтологические доказательства эволюции.

Палеонтология указывает на причины эволюционных преобразований. В этом отношении интересна эволюция лошадей. Изменение климата на Земле повлекло за собой изменение конечностей лошади. Параллельно изменению конечностей происходило преобразование всего организма: увеличение размеров тела, изменение формы черепа и усложнение строения зубов, возникновение свойственного травоядным млекопитающим пищеварительного тракта и многое другое. В результате изменения внешних условий под влиянием естественного отбора произошло постепенное превращение мелких пятипалых всеядных животных в крупных травоядных. Богатейший палеонтологический материал — одно из наиболее убедительных доказательств эволюционного процесса, длящегося на нашей планете уже более 3 млрд лет.

5. Биogeографические доказательства эволюции.

Ярким свидетельством происшедших и происходящих эволюционных изменений является распространение животных и

растений по поверхности нашей планеты. Сравнение животного и растительного мира разных зон дает богатейший научный материал для доказательства эволюционного процесса. Фауна и флора палеоарктической и неоарктической областей имеют много общего. Это объясняется тем, что в прошлом между названными областями существовал сухопутный мост — Берингов перешеек. Другие области имеют мало общих черт.

Таким образом, распределение видов животных и растений по поверхности планеты и их группировка в биографические зоны отражают процесс исторического развития Земли и эволюции живого.

6. Островные фауна и флора.

Для понимания эволюционного процесса интерес представляют флора и фауна островов, которые полностью зависят от истории происхождения островов. Огромное количество разнообразных биографических фактов указывает на то, что особенности распределения живых существ на планете тесно связаны с преобразованием земной коры и с эволюционными изменениями видов.

15.2. Пути и причины эволюции живого

*Общаясь с дураком, не оберешься срама,
Поэтому совет ты послушай Хайяма: Яд,
мудрецом тебе предложенный, прими, Из
рук же дурака не принимай бальзама.*

О. Хайям

Вопрос о путях и причинах разнообразия форм живой природы в различной формулировке вставал с глубокой древности-античности (Эмпедокл, Лукреций Кар). Для возникновения мыслей о том, что происходит постепенное превращение одной структуры в другую, одной формы в следующую, более совершенную, достаточно было наблюдения за стадиями развития зародыша, жизнью диких животных, а также осмысления успехов в примитивной селекционной деятельности.

Карл Линней описал более 8 тысяч растений, ввел терминологию и строго иерархический порядок описания видов. Хотя его классификация была основана на внешних признаках, деление на вид, класс, род практически сохранено и в настоящее время. Система К. Линнея — первая научная классификация живой природы, созданная в XVIII в. За единицу классификации был принят вид — совокупность особей, сходных по строению и дающих похожее на них потомство. **Биогенетический закон**, сформулированный в 1864 г. немецкими зоологами Ф. Мюллером и Э. Геккелем, гласит: каждая особь в своем индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида (филогенез), т. е. онтогенез есть краткое повторение филогенеза.

Закон необратимости эволюции сформулирован в 1893 г. бельгийским ученым Л. Долло на основе изучения большого палеонтологического материала. Согласно этому закону организм (популяция, вид) не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков: эволюция необратима.

Однако в качестве самостоятельно поставленного с вопросом об эволюции живого выступил только Ж. Б. Ламарк, который впервые и ввел в науку термин "биология". Учение Ж. Б. Ламарка — первое эволюционное учение, созданное в начале XIX в, которое заключалось в том, что все организмы в процессе исторического развития претерпевают прогрессивное усложнение — градации. При этом он установил связь между изменением организмов и окружающей средой. Он отверг идею постоянства видов, противопоставив ей представление об изменяемости видов. Его учение утверждало существование эволюции как исторического развития от простого к сложному. Впервые был поставлен вопрос о факторах эволюции. Ламарк совершенно правильно считал, что условия среды оказывают важное влияние на ход эволюционного процесса. Он был одним из первых, кто отметил чрезвычайную длительность развития жизни на Земле. Однако Ламарк допустил серьезные ошибки, прежде всего в понимании факторов эволюционного процесса,

выводя их из якобы присущего всему живому стремления к совершенству. Это породило очень распространенные, но научно совершенно необоснованные представления о наследовании признаков, приобретаемых организмами под непосредственным воздействием среды. Эволюционное учение Ламарка не было достаточно доказательным и не получило широкого признания среди его современников. Часто эволюцию представляют как прогрессивное и регрессивное. Под **биологическим прогрессом** следует понимать возрастание приспособленности организмов в окружающей среде, ведущее к увеличению численности и более широкому распространению вида. Эволюционные изменения, происходящие в некоторых видах, семействах, отрядах, не всегда могут быть признаны прогрессивными. В таких случаях говорят о биологическом регрессе. **Биологический регресс** — это снижение уровня приспособленности к условиям обитания, уменьшение численности вида и площади видового ареала. Пути достижения биологического прогресса следующие:

1. Ароморфоз (морфологический прогресс) — возникновение в ходе эволюции признаков, которые существенно повышают уровень организации живых организмов. Ароморфоз дает большие преимущества в борьбе за существование, открывает возможности освоения новой, прежде недоступной среды обитания. В эволюции млекопитающих можно выделить несколько крупных ароморфозов: возникновение шерстного покрова, живорождение, вскармливание детенышей молоком, приобретение постоянной температуры тела, прогрессивное развитие легких, кровеносной системы и головного мозга. Формирование ароморфоза — длительный процесс, происходящий на основе наследственной изменчивости и естественного отбора. Морфо-физиологический прогресс — магистральный путь эволюции органического мира.

2. Идиоадаптация — это приспособление живого мира к окружающей среде, открывающее перед организмами возможность прогрессивного развития без принципиальной перестройки их биологической организации.

3. Общая дегенерация — резкое упрощение организации, связанное с исчезновением целых систем, органов и функций. Очень часто дегенерация наблюдается при переходе видов к паразитическому образу существования. Несмотря на то что общая дегенерация приводит к значительному упрощению организации, виды, идущие по этому пути, могут увеличивать свою численность и ареал, т. е. двигаться по пути биологического прогресса.

Исторически рассматривались различные пути и причины, лежащие в основе эволюции живого. К основным из них можно отнести следующие: 1) тренировка органов, как считал Ламарк; 2) борьба за существование и выживание наиболее приспособленных (естественный отбор по Дарвину); 3) способность к взаимопомощи; 4) влияние природных катастроф: кометы, изменение температуры и др.

15.3. Эволюционная теория Дарвина

*Тот, кто предупреждает нас о
бесплодных путях, оказывает не
меньшую услугу, чем тот, кто
указывает правильный путь.*

Гейне

Начало формирования теории эволюции, совершающейся посредством естественного отбора, относится к творчеству Ч. Дарвина. Вот уже более 100 лет эта теория находится в эпицентре борьбы разных типов идеологий и мировоззрений, исторический путь ее не был прост. Теория эволюции сформулирована Дарвином в 1859 г. Наибольший вклад Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить. В 1859 г. Ч. Дарвин опубликовал труд "Происхождение видов путем естественного отбора". Здесь он предположил, что при интенсивной конкуренции внутри популяции любые изменения, благоприятные для выживания в данных условиях, повышают способность особей

размножаться и оставлять потомство. Дарвиновская революция была справедливо названа величайшей из всех научных революций, поскольку она не просто привела к замене одной научной революции (теории неизменных видов) на другую, но потребовала полного изменения представления человека о природе и о себе. Более конкретно она потребовала отказаться от некоторых наиболее широко распространенных и укорененных убеждений западного человека. В отличие от революций в физических науках (Коперник, Ньютон, Эйнштейн, Гейзенберг), дарвиновская революция подняла вопросы, касающиеся этики человека и его глубочайших убеждений. Новая парадигма Дарвина в своей сути представляет новое мировоззрение.

В теории эволюции Дарвина несколько научных компонентов. Во-первых, это представление об эволюции как реальности, что означает определение жизни как динамической структуры естественного мира, а не статической системы. Виды не только изменяются во времени, но и связаны друг с другом происхождением от общих предков. Этот компонент эволюционной теории обеспечивает логическую программу для систематики, исследований по сравнительной анатомии, эмбриологии, биогеографии и т. д. Эволюция рассматривается как постоянный процесс. Изменения видов — результат влияния естественного отбора на незначительные унаследованные отличия. Хотя существующие виды и обладают различными свойствами, считается, что эти свойства просто отражают исторический процесс дивергенции (расхождения), который уничтожил промежуточные формы или связующие виды. Считается, что с течением времени в результате постепенных малых изменений возникают новые формы, совершенно отличные от родительского вида. Положение о том, что виды произошли путем естественного отбора, Дарвин вывел, основываясь на пяти основных наблюдениях (фактах) и сделал три вывода:

1. Все виды обладают биологическим потенциалом к увеличению количества особей до больших популяций.
2. Однако популяции в природе демонстрируют относительное постоянство количества особей во времени.

3. Ресурсы, необходимые для существования видов, ограничены, поэтому количество особей в популяциях примерно постоянно во времени.

Вывод 1. Между представителями одного вида существует борьба за ресурсы, необходимые для выживания и размножения. Только небольшая часть особей выживает и дает потомство.

4. Не существует двух особей одного вида, которые бы обладали одними свойствами. Представители одного вида демонстрируют большую изменчивость.

5. В основном изменчивость обусловлена генетически, поэтому наследуется.

Вывод 2. Конкуренция между представителями одного вида зависит от уникальных наследственных свойств особей, обеспечивающих преимущества в борьбе за ресурсы для выживания и размножения. Такая неодинаковая способность к выживанию и есть естественный отбор.

Вывод 3. Накопление наиболее благоприятных свойств в результате естественного отбора приводит к постоянному изменению видов. Так происходит эволюция.

Опираясь на огромный фактический материал и практику селекционной работы по выведению новых сортов растений и пород животных, Ч. Дарвин сформулировал основные принципы своей эволюционной теории:

- **первый принцип** постулирует, что изменчивость является неотъемлемым свойством живого;

- **второй принцип** раскрывает внутренние противоречия в развитии живой природы и утверждает, что, с одной стороны, все виды организмов имеют тенденцию к размножению в геометрической прогрессии, а с другой — выживает и достигает зрелости лишь небольшая часть потомства;

- **третий принцип** обычно называют принципом естественного отбора, который играет фундаментальную роль в теории эволюции не только Дарвина, но и всех теорий, появившихся позднее. Естественный отбор постоянно распространяет по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая неприспособленные, сохраняя и слагая устойчивые, работая неслышно и невидимо над

усовершенствованием каждого органического существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими.

Теория Дарвина нуждалась в дальнейшей разработке и обосновании с учетом последующих достижений всех биологических дисциплин. Данные в поддержку гипотезы Дарвина дают различные науки. Палеонтология, которая занимается изучением ископаемых остатков, подтверждает факт прогрессивного возрастания сложности организмов. В самых древних породах встречаются организмы немногих типов, имеющих простое строение. Постепенно разнообразие и сложность растут. В соответствии с данными палеонтологии можно считать, что в протерозойскую геологическую эру (700 млн лет назад) появились бактерии, простейшие водоросли, примитивные морские организмы; в палеозойскую (365 млн лет назад) — наземные растения, пресмыкающиеся; в мезозойскую (185 млн лет назад) — млекопитающие, птицы, хвойные растения; в кайнозойскую (70 млн лет назад) — современные виды (табл. 15.1).

Теория эволюции Дарвина знаменовала собой крупный прорыв в биологии наряду с классификацией Линнея и клеточной теорией.

15.4. Современная теория органической эволюции

*Ведь очень часто торопливость дум
На ложный путь заводит
безрассудно,
А там пристрастъя связывают ум.*

Данте

Современная теория органической эволюции отличается от дарвиновской по ряду важнейших пунктов:

- в настоящее время элементарной структурой, с которой начинается эволюция, считается популяция, а не отдельная особь или вид, который включает в свой состав несколько популяций;
- в качестве элементарного явления или процесса эволюции современная теория рассматривает устойчивое изменение генотипа популяции;

Таблица 15.1 Общая
геохронологическая и стратиграфическая шкала Земли

Эра	Период	Изотопные датировки, млн лет	
Архей		Более 3500	Зарождение жизни, появление прокариот. Господство бактерий и сине-зеленых. Появление зеленых водорослей
Протерозой	Карелий	2500 ÷ 100	Развитие низших растений
	Рифей	1650 ÷ 50	Появление эукариот, многоклеточных растений и животных
Венд		650 – 690 ÷ 20	Появление кишечнополостных, членистоногих, иглокожих
Палеозой	Кембрий	570 ÷ 20	Развитие беспозвоночных, появление высших растений
	Ордовик	490 ÷ 15	Появление первых позвоночных — бесчелюстных
	Силур	435 ÷ 10	Выход растений и беспозвоночных на сушу
	Девон	400 ÷ 10	Господство рыб, возникновение насекомых и амфибий, появление лесов из папоротников и плаунов
	Карбон	345 ÷ 10	Распространение лесов, расцвет амфибий, появление летающих насекомых, возникновение рептилий
	Пермь	280 ÷ 10	Появление голосеменных, распространение рептилий
Мезозой	Триас	230 ÷ 10	Распространение голосеменных, появление млекопитающих
	Юра	190 – 195 ÷ 5	Господство рептилий на суше, в воде и воздухе. Возникновение покрытосеменных растений и птиц
	Мел	136 ÷ 5	Развитие цветковых растений, расцвет насекомых, вымирание многих рептилий
Кайнозой	Палеоген	66 ÷ 3	Расцвет млекопитающих и птиц
	Неоген	25 ÷ 2	Возникновение современных семейств млекопитающих, формирование современной флоры
	Четвертичный	1,8	Развитие рода Homo

- она шире и глубже истолковывает факторы и движущие силы эволюции, выделяя среди них факторы основные и неосновные.

Ч. Дарвин и последующие теоретики к основным факторам эволюции относили изменчивость, наследственность и борьбу за существование. В настоящее время к ним добавляют множество других дополнительных, неосновных факторов, которые тем не менее оказывают влияние на эволюционный процесс.

В современной теории процессы изменения и наследственности опираются на следующие три основных фактора:

1) важнейшим фактором является мутационный процесс, который исходит из признания того неоспоримого теперь положения, что основную массу эволюционного материала составляют различные формы мутаций, т. е. изменений наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызванных искусственными средствами;

2) вторым основным фактором эволюции служат популяционные волны, которые часто называют "волнами жизни". Они определяют количественные флуктуации, или отклонения от среднего значения численности организмов в популяции, а также области ее расположения (ареала). Причем наиболее подходящими для эволюции и возникновения новых видов оказываются популяции средних размеров;

3) в качестве третьего основного фактора эволюции признается обособленность группы организмов. Обособление и изоляция определенной группы организмов необходимы для того, чтобы она не могла скрещиваться с другими видами и тем самым передавать им и получать от них генетическую информацию.

К указанным основным факторам эволюции часто добавляют частоту смены поколений в популяциях, темпы и характер мутационных процессов и некоторые другие. Следует подчеркнуть, что все перечисленные основные и неосновные факторы выступают не изолированно, а во взаимосвязи и взаимодействии друг с другом.

Механизм эволюционного процесса и его движущая сила заключаются в действии естественного отбора, который явля-

ется результатом взаимодействия популяций и окружающей их среды. Естественный отбор характеризуется как процесс выживания наиболее приспособленных и уничтожения неприспособленных организмов. Современная теория эволюции раскрывает конкретные типы механизмов естественного отбора. В живой природе наблюдаются сложные, комплексные типы отбора.

15.5. Синтетическая теория эволюции

*Берегись, ибо жизнь — это
сущность творенья, Как ее
проведешь, так она и
пройдет.*

Омар Хайям

Генетика привела к новым представлениям об эволюции, получившим название **неодарвинизма**, который можно определить как теорию органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически. Другое общепринятое название — синтетическая, или общая, теория эволюции. Механизм эволюции стал рассматриваться как состоящий из двух частей: случайные мутации на генетическом уровне и наследование наиболее удачных с точки зрения приспособления к окружающей среде мутаций, так как их носители выживают и оставляют потомство (мутация — появление нового признака — борьба за существование — естественный отбор).

Синтетическая теория эволюции представляет собой синтез основных эволюционных идей Дарвина и прежде всего идеи естественного отбора с новыми результатами биологических исследований в области наследственности и изменчивости. Если в теории Дарвина эволюция происходит в рамках вида, то в синтетической теории элементарной единицей эволюции служит популяция, поскольку именно в ее рамках происходят наследственные изменения генофонда. Другое существенное отличие синтетической эволюции от дарвиновской состоит в четком разграничении областей исследования микроэволюции и макроэволюции.

Микроэволюция — совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов. В отличие от этого **макроэволюция** связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период времени, которые приводят к возникновению надвидовых форм организации живого. Изменения, которые изучаются в рамках микроэволюции, доступны непосредственному наблюдателю, тогда как макроэволюция происходит на протяжении длительного исторического периода времени. Макроэволюция, как и микроэволюция, происходит в конечном итоге под воздействием изменений в окружающей среде.

Любая новая крупная группа организмов выше уровня вида, как правило, возникает потому, что приобретает в ходе эволюции качественно новые особенности в своей структуре и организации, которые дают ей коренное преимущество в борьбе за существование. Каждая группа организмов характеризуется определенным средним темпом эволюции. Чем быстрее совершается процесс приспособления группы к частным, конкретным условиям среды, тем скорее она достигает расцвета и соответственно гибели. Уничтожение целых групп живых организмов в ходе эволюции обусловлено естественным отбором других групп, более приспособленных к изменившимся условиям окружающей среды. Исчезнувшие в процессе эволюции отдельные организмы, виды и группы впоследствии никогда не восстанавливаются в прежней форме.

Согласно эволюционной теории Дарвина **целесообразность** есть неизбежный результат естественного отбора, в ходе которого устраняются организмы, не приспособленные к условиям своего существования, и получают право на жизнь и потомство организмы, обладающие определенными преимуществами перед ними. Чтобы правильно объяснить целесообразность, необходимо иметь в виду, что любая ее форма зависит от внешней среды, определяется ее условиями и состоянием. Целесообразность носит относительный характер, так как ее мерой служит внешняя

среда; то, что целесообразно в одних условиях, оказывается нецелесообразным и даже вредным в других.

Эволюционная теория подтверждает существование прогресса в живой природе. В настоящее время не существует пока общепризнанных критериев прогресса, хотя в последние годы его связывают со степенью упорядоченности и сложностью организации биологических систем и их адаптаций к условиям окружающей среды.

15.6. Другие концепции эволюции живого

*Живи — радуйся тому,
Что из твоих трудов под солнцем
выйдет.
Поскольку из живущих никому
Не суждено грядущего увидеть.*
Из Екклесиаста

Критика дарвинизма велась со дня его возникновения. Дело в том, что общий ход эволюции в чем-то непредсказуем, хотя непредсказуемость неабсолютная. Недостаточное осознание этого факта подчас ориентирует мысль на поиски радикальных решений. Одним не нравилось, что изменения, по Дарвину, могут идти во всех возможных направлениях, случайным образом, беспорядочно. Другие выдвигали новые теории эволюции.

Наиболее широко распространен и популярен **катастро-физм**, тяга к сальтационистским объяснениям эволюционного процесса. Главными чертами таких трактовок является отрицание естественного отбора и утверждение о том, что наиболее существенное эволюционное изменение есть результат случайных изменений. Адаптации видов возникают **сальтационно**, т. е. скачкообразно (от итал. *salto* — прыжок). Новые уровни организмов возникают не в результате конкуренции их предков со старыми, а в условиях экологического вакуума, созданного массовым вымиранием. По уровню приспособленности новые группы организмов ничуть не совершеннее старых. Катастрофам — представление о том, что смена этапов органического

мира на Земле обусловлена катастрофами, уничтожающими животный и растительный мир. Одни авторы связывают катастрофы с геологическими процессами — оживление вулканизма, приводящего к глобальному похолоданию и выбросу в атмосферу большого объема токсических веществ; геомагнитными процессами биосферы, сопряженными с повышением ионизирующей радиации; с процессами горообразования и изменения климата. Другие авторы — сторонники космических причин массовых вымираний — чаще всего говорят о повышении радиации в результате вспышки сверхновых звезд и колебаний солнечной активности, или о бомбардировке Земли кометами и гигантскими астероидами, что ведет к изменению положения Солнечной системы относительно плоскости Галактики, или о прохождении крупного небесного тела через Солнечную систему.

Русский ученый П. Н. Кропоткин в **концепции номогенеза** придерживался точки зрения, в соответствии с которой взаимопомощь является более важным фактором эволюции, чем борьба. Наблюдая перемещения больших масс животных в Восточной Сибири, спасающихся от стихийных бедствий, он выделил взаимопомощь и кооперацию в животном мире как факторы эволюции.

В **концепции коэволюции** биологическая эволюция рассматривается как результат взаимодействия организмов. Случайно образовавшиеся более сложные формы увеличивают разнообразие и, стало быть, устойчивость экосистем. Удивительная согласованность всех видов жизни есть следствие коэволюции.

На основе учения о биосфере, экологии и концепции коэволюции возникла **гипотеза Геи** (в греч. мифологии — богиня Земли). Суть гипотезы Геи следующая: Земля является саморегулирующейся системой, созданной биотой и окружающей средой, способной сохранять химический состав атмосферы и тем самым поддерживать благоприятное для жизни постоянство климата.

Биологи едины во мнении, что все широчайшее разнообразие животного мира, растений и других форм жизни на Земле связано с простыми организмами, появившимися около 3 млрд лет

назад. Большинство важнейших эволюционных преобразований совершилось довольно внезапно, после появления многоклеточных, около 600 млн лет назад, т. е. в кембрийский период. Этот период разделен на три эры: палеозой (эра "древней жизни"), мезозой (эра "промежуточной жизни") и кайнозой (эра "новой жизни"). Все виды животных появились примерно за 60 млн лет кембрийского периода, причем неизвестно, когда возник каждый тип отдельно. Считается, что около 450 млн лет назад появились позвоночные животные — щитовые рыбы, морские ежи, морские звезды и др. Тем не менее при сравнении 3,5 млрд лет всей биоэволюции и около 570 млн лет, прошедших с начала кембрия, создается впечатление, что все типы животных возникли практически одновременно и внезапно. По выражению палеонтологов, это — кембрийский взрыв формообразования. После кембрия скорость появления новых классов резко упала. Хотя загадка кембрийского взрыва не разгадана, она свидетельствует о роли случайности в процессе эволюции.

Распространение животных и растений на земном шаре носит прерывистый характер. Тот факт, что встречаются сходные особи в удаленных частях суши, может быть объяснен тем, что когда-то распределение суши на Земле было иным. В 1912 г. А. Вегенер выдвинул гипотезу дрейфа континентов, которая благосклонно была принята биологами, поскольку объясняла странное распространение животных. Причинами дрейфа он считал конвекционные течения в верхней мантии Земли, что весьма правдоподобно. Такая гипотеза позволяет объяснить непрерывные перемещения массивов суши и современное распространение некоторых редких животных. Дрейф континентов и периодические оледенения влияли на эволюционный процесс, меняя условия жизни. Гипотеза суперконтинентального дрейфа открывает новый путь к пониманию не только геологической и климатической истории Земли, но и эволюции жизни на Земле. Это началось (по гипотезе) 200 млн лет назад. По сути, любая из биологических эволюционных теорий в явной или неявной форме затрагивает проблему того, что первично в эволюции. Важно при рассмотрении темы увидеть эволюционную теорию не как одно-

значный путь развития, предсказуемый и познанный наукой, а как спектр в различной степени обоснованных концепций.

Многие биологи считают, что двигателем вариаций на видовом или популяционном уровне являются изменения в геноме. С развитием молекулярной биологии на этот счет появилось немало экстравагантных гипотез. При таком подходе эволюция экосистемы и биосферы — следствие микроэволюционных процессов. Есть и другая, сравнительно малочисленная группа исследователей, которые, считая себя последователями В. И. Вернадского, соглашались с тем, что первопричиной эволюции являются экосистемные (биосферные) макропроцессы, влияющие на локальные условия среды. При этом создаются условия для отбора среди множества форм организмов, появляющихся в результате геномных коллизий. Отсюда вытекает, что экосистемы и биосфера управляют эволюционным процессом, порождая наиболее подходящие для себя популяции организмов.

Предметом острой моды в современной науке является концепция глобального эволюционизма. **Глобальный эволюционизм** есть попытка естественно-научными и математическими средствами описать развитие Вселенной как целостной многоуровневой системы, создать формализованные модели ряда ключевых моментов эволюции (бифуркаций и катастроф, эволюционного компромисса как способа разрешения системных противоречий). Основными тезисами глобального эволюционизма являются:

1. Наша Вселенная в силу связи всех ее составляющих есть некая единая система.

2. Ее эволюция — рост разнообразия форм материальной организации, ограничиваемый тенденцией к их единству и кооперативности, — есть усложнение.

3. В процессе своей естественной эволюции Вселенная обретает с помощью человека способность не только познать саму себя, но и направлять свое развитие так, чтобы компенсировать или ослаблять дестабилизирующие факторы.

4. Главным из дестабилизирующих факторов пока является сам социум: возросшее могущество человека уже не позволяет рассматривать его в качестве независимой системы, вся история

которой развивается на некоем фоне, называемом окружающей средой.

5. Ближайшая цель общественного развития — обеспечение коэволюции человека и биосферы, так как, если нагрузка на биосферу будет возрастать, она делается непригодной для обитания, в том числе самого человека.

Для достижения сформулированной цели, согласно сторонникам глобального эволюционизма, следует избегать любых бифуркаций: пока мы находимся внутри некоего канала, берега которого ограничивают множество возможных вариантов дальнейшей эволюции, мы можем предвидеть последствия своих действий, но если эволюция выйдет на пересечение ряда каналов (в точку бифуркации), где выбор дальнейшего направления станет случайным, это станет невозможным. Нам следует сознательно держаться своего канала, поскольку мы обладаем огромными возможностями разрушить его берега. Без этого длительное совместное развитие биосферы и самого человека остается благим намерением. Избежать бифуркационных состояний и ужиться с природой можно лишь на пути (в канале) сознательного усложнения системы "природа—человек". Условием такого сознательного усложнения является совершенствование искусственного, распространение таких технологий, которые позволяют максимально полно реализовать "дремлющие в природе" возможности. Внутреннее богатство новых сконструированных сложных систем укрепит наш "канал" новыми блоками. Развитие с позиции глобального эволюционизма выглядит как совместное усложнение природного и социального.

В табл. 15.2 представлена научная хронология основных этапов эволюции мира.

ВЫВОДЫ

1. Под эволюцией, т. е. развитием, понимается процесс длительных, постепенных, медленных изменений, которые в конечном итоге приводят к изменениям коренным, качественным, завершающимся возникновением новых материальных систем, структур, форм и видов.

Таблица 15.2

Научная хронология основных этапов эволюции мира

Основные этапы	Время этапа
Возникновение нашей Вселенной согласно теории Большого взрыва и расширяющейся Вселенной	15-20 млрд л. н.
Образование нашей Галактики	13 млрд л. н.
Образование Солнечной системы	5 млрд л. н.
Ранняя история Земли	4,6—3,8 млрд л. н.
Геологические истории Земли, возникновение фотосинтеза, кислородной атмосферы и появление прокариотных организмов (т. е. состоящих из безъядерных клеток)	3,8-3,5 млрд л. н.
Появление эукариотных (ядерно-клеточных) организмов	3,5-2 млрд л. н.
Появление первых многоклеточных организмов, дифференциация растительного и животного мира	1 млрд л. н.
Выход жизни из моря на сушу	440 млн л. н.
Начало эволюции млекопитающих	65 млн л. н.
Появление обезьян	35 млн л. н.
Становление человека умелого (австралопитек)	5,5-2,0 млн л. н.
Появление человека разумного (кроманьонец)	40-15 тыс. л. н.

2. Изменчивость является неотъемлемым свойством живого. С одной стороны, все виды организмов имеют тенденцию к размножению в геометрической прогрессии, а с другой — выживает и достигает зрелости лишь небольшая часть потомства. Естественный отбор постоянно распространяет по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая неприспособленные, сохраняя устойчивые, работая неслышно и невидимо, где бы и когда бы ни представился тому случай, над усовершенствованием каждого живого существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими.

3. Новые виды могут возникать только в пределах одной популяции, поскольку вид — это группа скрещивающихся между собой организмов, которые не могут скрещиваться с представителями других таких групп. Изменение генных частот в каждой популяции составляет молекулярную основу эволюции, происходящей на основе естественного отбора.

4. Естественный отбор не является единственным фактором эволюции, хотя он очень важен. Основную массу эволюционного материала составляют различные формы мутаций, т. е. изменение наследственных свойств организмов, возникающих естественным путем или вызванных искусственными средствами. Мутации вносят новые гены в генофонд данной популяции, но сами мутации достаточно редки. Мутации как бы поставляют сырье, на которое действует естественный отбор.

5. Одним из основных факторов эволюции являются популяционные волны, которые часто называют "волнами жизни". Они определяют количественные флуктуации, или отклонения, от среднего значения численности организмов в популяции, а также области ее расположения (ареала). Другим основным фактором эволюции признается обособленность группы организмов, чтобы под влиянием локальных условий и давлений отбора эволюционировать своим путем.

6. Микроэволюция — совокупность эволюционных изменений, происходящих в генофондах популяций за сравнительно небольшой период времени и приводящих к образованию новых видов. В отличие от этого макроэволюция связана с эволюционными преобразованиями за длительный исторический период времени, которые приводят к возникновению надвидовых форм организации живого.

7. Целесообразность есть неизбежный результат естественного отбора, в ходе которого устраняются организмы, не приспособленные к условиям своего существования, и получают право на жизнь и потомство организмы, обладающие определенными преимуществами перед ними.

Вопросы для контроля знаний

1. *Чем отличается молекулярная структура живых систем от неживых?*

2. *Какую роль играют молекулы ДНК в передаче наследственности и как был расшифрован генетический код?*

3. *Какие основные способы питания существуют в живой природе?*

4. Какой уровень организации называется популяционным и чем он отличается от онтогенетического?
5. В чем состоит разница между биоценозами и биогеоценозами?
6. Какое воздействие сложность трофических связей оказывает на устойчивость и жизнеспособность живых систем?
7. Сформулируйте основные принципы учения Ч. Дарвина об эволюции.
8. Чем отличается синтетическая теория эволюции от дарвиновской?
9. Перечислите основные факторы и движущие силы эволюции.
10. Каков механизм генетической эволюции?
11. Как объясняет эволюционная теория целесообразность в природе?
12. С чем связан биологический прогресс?
13. Чем отличается макроэволюция от микроэволюции?
14. Поясните закон Геккеля: "Онтогенез повторяет филогенез".
15. Что является предметом изучения биологии?
16. Какие основные признаки учитывались в первых схемах классификации растений и животных?
17. Какую роль играет наследственность в развитии живой природы?
18. Как влияет изменчивость на живые организмы?
19. Приведите примеры действия естественного отбора в современном животном мире.
20. В чем проявляется синтез классического дарвинизма с новейшими достижениями генетики?

Глава 16. КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

*Прекрасным создал этот мир
Господь.
Дал разум людям, но понятья
не дал,
Чтоб человек, свою земную плоть
Преодолев, Его дела изведal.*
Из Екклесиаста

16.1. Человек как предмет естественно-научного познания

Проблема антропогенеза — возникновения человека — представляет большой научный интерес и вызывает жаркие споры среди ученых. Причина этому, с одной стороны, — огромное методологическое значение материалистического решения вопроса о происхождении человека, а с другой — возможность проследить, как закономерности органической эволюции, действующие на уровне биологической формы движения материи, уступают место иным, связанным с возникновением социальной формы движения материи. Социальные факторы антропогенеза (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление) приобрели важное значение в эволюции человека, что позволяет говорить об антропосоциогенезе. Это означает, что становление социальной формы движения не отменило действия биологических законов, а лишь изменило их проявление.

Человек как предмет естественно-научного познания может рассматриваться в трех аспектах: 1) происхождение; 2) соотношение в нем естественного и гуманитарного; 3) изучение специ-

фики человека методами естественно-научного познания. Первое направление, традиционно называемое антропологией, изучает, когда, от кого и как произошел человек и чем он отличается от животных; второе направление — социобиология — изучает генетическую основу человеческой деятельности и соотношение физиологического и психического в человеке; к третьему направлению относится изучение естественно-научным путем мозга человека, его сознания, души и т. п.

Рассмотрим первое направление. Как и в вопросе происхождения Вселенной и жизни, существует представление о божественном творении человека. "И сказал Бог: сотворим человека по образу и подобию нашему... И сотворил Бог человека по образу своему".

Во многих первобытных племенах были распространены представления о том, что их предки произошли от животных и даже растений (тотемы). В античности высказывались мысли о естественном происхождении людей из ила (Анаксимандр). Тогда же заговорили о сходстве человека и обезьяны (Ганнон из Карфагена).

В настоящее время в связи с ажиотажем вокруг НЛО в моду вошли версии о происхождении человека от внеземных существ, посещавших Землю, или даже от скрещивания космических пришельцев с обезьянами. Но в науке с XIX в. господствует вытекающая из теории эволюции Дарвина концепция происхождения человека от единых высокоразвитых предков современных обезьян и человека. Она получила в XX в. генетическое подтверждение, поскольку из всех животных по генетическому аппарату ближе всего к человеку оказались шимпанзе.

Проблема возникновения человека ныне рассматривается, во-первых, как проблема возникновения видовой специфичности человека. Под критериями человека понимается фундаментальное свойство, в котором отразилась бы специфичность человеческого общества.

16.2. Сходства и отличия человека от животных

Человек не ангел и не животное, и несчастье его в том, что чем больше он стремится уподобиться ангелу, тем больше превращается в животное.

Б. Паскаль

Для рассмотрения проблемы антропогенеза необходимо уточнить, каково место человека в структуре живого. Отсюда вытекают основные сходства и отличия человека от животных. Они состоят в следующем.

Сходство человека с животными определяется, **во-первых**, вещественным составом, строением и поведением организмов. Человек состоит из тех же белков и нуклеиновых кислот, что и животное, и многие структуры и функции нашего тела такие же, как и у животных. Чем выше на эволюционной шкале стоит животное, тем ближе его сходство с человеком. **Во-вторых**, человеческий зародыш в своем развитии проходит те же стадии, которые прошла эволюция животного. И, **в-третьих**, у человека имеются рудиментарные органы, которые выполняли важные функции у животных и сохранились у человека, хотя сейчас не нужны ему (например, аппендикс, копчик и др.).

Появление в процессе эмбрионального развития человека хорды, жаберных щелей в полости глотки, дорсальной полый нервной трубки, двухсторонней симметрии в строении тела определяет принадлежность человека к типу хордовых. Развитие позвоночного столба, сердце на брюшной стороне тела, наличие двух пар конечностей — к типу позвоночных. Теплокровность, развитие молочных желез, наличие волос на поверхности тела свидетельствуют о принадлежности человека к классу млекопитающих. Развитие детеныша внутри тела матери и питание плода через плаценту определяют принадлежность человека к подклассу плацентарных. Множество более частных признаков четко определяют положение человека в системе отряда приматов. Итак, с биологической точки зрения, человек — один из

видов млекопитающих, относящихся к отряду приматов, подотряду высших (табл. 16.1).

Однако и **отличия** от животных фундаментальны. К ним прежде всего относится **разум**. Самые высшие животные не обладают способностью к понятийному мышлению, т. е. к формированию отвлеченных, абстрактных представлений о предметах, в которых обобщены основные свойства конкретных вещей. Мышление животных, если о таковом можно говорить, всегда конкретно; мышление человека может быть абстрактным, отвлеченным, обобщающим, понятийным, логичным. Благодаря способности к понятийному мышлению, человек сознает, что он делает, и понимает мир. Вторым главным отличием является то, что человек обладает **речью**. У животных может быть очень развитая система общения с помощью сигналов, но только у человека есть вторая сигнальная система — общение с помощью слов. В естествознании предполагается, что речь произошла из звуков, произносимых при работе, которые потом становились общими в процессе совместного труда. Таким же путем в процессе общественного труда постепенно мог возникнуть разум. **Способность к труду** — еще одно фундаментальное отличие человека от животных. Только человек способен изготавливать, творить **орудия труда**. С этим связаны утверждения, что животные приспосабливаются к окружающей среде, а человек преобразует ее, и что в конечном счете труд создал человека. Со способностью к труду соотносятся еще два отличительных признака человека: **прямохождение**, которое освободило его руки, и, как следствие, **развитие руки**, особенно большого пальца на ней. Наконец, еще два характерных признака человека, повлиявших на развитие культуры, — **использование огня и захоронение трупов**.

Таким образом, **главные отличия человека от животных: понятийное мышление, речь, труд** — стали теми путями, по которым шло обособление человека от природы.

Таблица 16.1

Место человека в структуре живого

		Основные характеристики
Тип	Хордовые	В эмбриональном развитии хорда; жаберные щели в полости глотки; нервная трубка на спинной стороне; двухсторонняя симметрия тела
Подтип	Позвоночные	Позвоночный столб; сердце на брюшной стороне тела; две пары свободных конечностей; формирование черепа и челюстного аппарата; 5 отделов головного мозга
Класс	Млекопитающие	Теплопроводность; развитие молочных желез; наличие волос на поверхности тела; потовые и сальные железы кожи; наличие диафрагмы; 5 отделов позвоночника; 4-камерное сердце
Подкласс	Плацентарные	Развитие детеныша внутри матки и питание его через плаценту
Отряд	Приматы	Расположение глаз в одной плоскости (объемное зрение); конечность хватательного типа (один палец противопоставлен четырем); ногти; одна пара сосков, хорошо развитые ключицы; рождение обычно одного детеныша; замена молочных зубов
Подотряд	Высшие	Развитые лобные доли головного мозга; плоские ногти; редукция хвостового отдела позвоночника; наличие рудиментов (аппендикса и др.); 4 основные группы крови; развитие мимической мускулатуры; слабо развитая обонятельная зона; большое число извилин коры больших полушарий
Семейство	Номо	Люди вымершие (австралопитек, питекантроп, синантроп, неандерталец)
Вид	Homo sapiens	Прямохождение; мощная мускулатура нижних конечностей; сводчатая стопа; подвижная кисть руки; позвоночник с 4 изгибами; широкий таз, расположенный под углом 60° к горизонтали; крупные кости мозгового и мелкие лицевого черепа, плечевой сустав, обеспечивающий движение до 180°; ограниченная плодовитость (вид с самой медленной сменой поколений); плоская грудная клетка; большой палец нижних конечностей приблизился к остальным и принял на себя функцию опоры

16.3. Концепции появления человека на Земле. Антропология

*В этом замкнутом круге — крути
и не крути
Не удастся конца и начала найти.
Наша роль в этом мире — прийти
и уйти.
Кто нам скажет о цели, о смысле
пути?*

Омар Хайям

Проблема происхождения человека и определение специфики его строения и эволюции изучаются в антропологии (от греч. *anthropos* — человек). Бурное развитие антропология получила во второй половине XIX в. после создания теории эволюции Ч. Дарвина. Э. Геккель выдвинул гипотезу о существовании в прошлом промежуточного между обезьяной и человеком вида, который он назвал питекантропом (букв. "обезьяночеловек"). Он предположил, что не современные обезьяны были предками человека, а дриопитеки, существовавшие на Земле около 70 млн лет назад. От них одна линия эволюции пошла к шимпанзе и гориллам, другая — к человеку. Современные человекообразные обезьяны — шимпанзе, горилла, орангутанг, гиббоны — представляют формы, около 10-15 млн лет назад уклонившиеся от линии развития общей с человеком.

20 млн лет назад под влиянием похолодания джунгли отступили, и одной из ветвей дриопитеков пришлось спуститься с деревьев и перейти к прямохождению. Это подтверждается тем, что в предгорьях Гималаев в Индии, Пакистане, Юго-Восточной Африке, на Ближнем Востоке были найдены останки ископаемой крупной обезьяны — рамапитека, — по строению зубов оказавшейся промежуточной между современными человекообразными обезьянами и человеком. Впоследствии было определено, что рамапитеки жили около 14-8 млн лет назад. В это время, как показывают палеоклиматические данные, на Земле стало немного холоднее, и на месте прежде необъятных тропических

лесов стали возникать саванны. Именно в это время рамапитеки "вышли из леса" и стали приспосабливаться к жизни на открытом пространстве. Можно только догадываться, что послужило причиной этой экологической перестройки, возможно, поиски пищи, которой стало меньше в джунглях, или желание избежать каких-то сильных хищников. На открытом пространстве потребовалась физическая перестройка организма обезьяны: преимущество получали те особи, которые могли дольше продержаться на двух ногах — в выпрямленном положении. В высокой траве для высматривания добычи и врагов такое положение тела, несомненно, более выгодно. И какие-то рамапитеки встали на ноги. Рамапитеки представляли большую и достаточно многочисленную группу видов. В период около 10—8 млн лет назад немногие виды их должны были сделать следующий шаг, начав использовать орудия труда не от случая к случаю, а регулярно и постоянно. Возможно, что именно это обстоятельство послужило причиной возникновения нового пучка форм человекообразных существ — австралопитеков.

Находки, сделанные главным образом в Южной Африке, ныне позволяют представить облик существ, находившихся в основании развития линии приматов, приведшей к возникновению рода человеческого.

В 1960 г. английский археолог Лики открыл в Восточной Африке "Человека умелого", возраст которого 2 млн лет, а объем мозга 670 см³. Позже на озере Рудольф в Кении были найдены останки существ того же типа возрастом 5,5 млн лет. Наличие изготовленных орудий труда позволило существенно увеличить его возраст. В науке укрепилось мнение, что в Восточной Африке разошлись эволюционные линии человека и шимпанзе. В Восточной Африке имеют место выходы урановых пород и существует повышенная радиация. Радиация, как доказано генетикой, вызывает мутации. Поэтому здесь эволюционные изменения могли протекать более быстрыми темпами. Возникший вид, физически более слабый, чем окружение, должен был, чтобы выжить, начать изготавливать орудия, вести общественный образ жизни и развивать разум. "Человека умелого" относят к австралопитекам

(букв, "южная обезьяна"), останки которого впервые найдены в Африке в 1924 году. Объем мозга австралопитека не превышал объема мозга человекообразных обезьян, но он был способен к созданию орудий труда.

По предложению Э. Геккеля питекантропом были названы останки, обнаруженные в 1891 г. на острове Ява. Существа, жившие 0,5 млн лет назад, имели рост более 150 см, объем мозга примерно 900 см³, использовали ножи сверла, скребки, ручные рубила. В 20-е гг. XX в. в Китае был найден синантроп ("китайский человек") с близким к питекантропу объемом мозга. Он использовал огонь и сосуды, но не имел речи.

В 1856 году в долине Неандерталь в Германии обнаружили останки существа, жившего 150-40 тыс. лет назад, названного неандертальцем. Он имел объем мозга, близкий к современному человеку, но покатый лоб, надбровные дуги, низкую черепную коробку; жил в пещерах, охотясь на мамонтов. У неандертальцев впервые обнаружены захоронения трупов.

Наконец, в пещере Кро-Маньон во Франции в 1868 г. были найдены останки существа, близкого по облику и объему черепа (до 1600 см³) к современному человеку, имевшему рост 180 см и жившему 40-15 тыс. лет назад. Это и есть "Человек разумный". В ту же эпоху появились расовые различия. У изолированных групп складывались особые признаки (светлая кожа у "белых" и т. п.).

Стадии становления человека не являются последовательной цепью переходов из одной в другую. Имеются свидетельства, что некоторые из этих стадий существовали одновременно. Это установлено для "Человека умелого" и питекантропа, неоантропа и палеоантропа. Одновременно каждая стадия была представлена несколькими формами. Расы человека — формы вида "человека разумного", которые выделились при приспособлении кроманьонцев к различным природно-климатическим условиям земного шара. Человечество в настоящее время представлено одним видом — *Homo sapiens*. Однако этот вид неоднороден. Он состоит из трех больших и множества малых и переходных рас: экваториальная (австрало-негроидная), евразийская (ев-

ропеоидная), азиатско-американская (монголоидная). Не все расовые отличия имеют приспособительный характер; многие из них возникли, вероятно, в силу коррелятивной изменчивости, а также в результате дрейфа генов. Наличие переходных рас между большими расами также свидетельствует об их относительности.

Итак, линия эволюции человека выстраивается следующим образом: "Человек умелый" (австралопитек) — "Человек прямоходящий" (питекантроп, синантроп) — "Человек неандертальский" — "Человек разумный" (кроманьонец) (рис. 16.1). После кроманьонца человек не изменялся генетически, тогда как его социальная эволюция продолжалась (табл. 16.2).

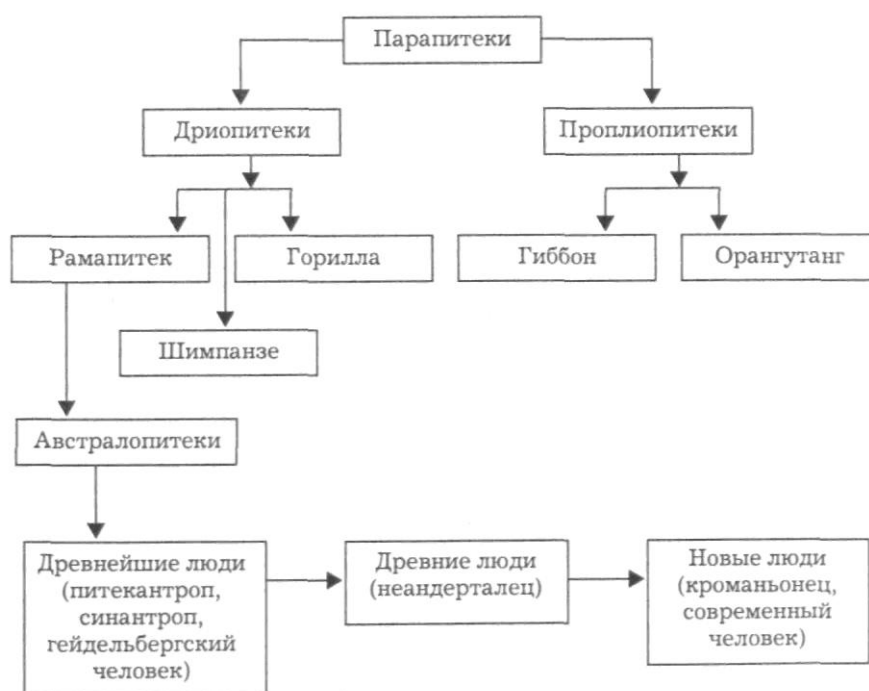


Рис. 16.1. Родословная человека

Таблица 16.2

Основные стадии эволюции человека

Признаки	Австралопитек	Человек умный	Древнейшие люди, питекантроп, синантроп	Древние люди, неандерталец	Новые люди, (кроманьонец, современный человек)
1	2	3	4	5	6
Возраст	5 млн	2-3 млн	2 млн - 200 тыс.	400-200 тыс.	40-15 тыс.
Внешний вид	Масса до 50 кг, рост до 170 см, руки свободны, прямохождение	Фаланги пальцев сплющены, первый палец стопы не отведен в сторону	Рост около 160 см, массивный костяк, положение тела — полусогнутое	Рост 155-165 см, коренастые люди, ходили несколько согнувшись	Рост около 180 см, физический тип современного человека
Объем мозга, г	550-650	750	700-1200	до 1400	около 1600
Череп	Массивные челюсти, небольшие резцы и клыки	Зубы человеческого типа	Кости черепа массивные, лоб покатый, надбровные валики выражены	Скошенный лоб и затылок, большой надглазничный валик, подбородочный выступ слабо развит	Мозговой череп преобладает над лицевым; сплошной надглазничный валик отсутствует, подбородочный выступ хорошо развит
Орудия труда	Систематическое использование естественных предметов	Изготовление примитивных орудий труда	Изготовление хорошо выделанных орудий труда	Изготовление разнообразных каменных орудий труда	Изготовление сложных орудий труда и механизмов

1	2	3	4	5	6
Образ жизни	Стадность, охота, собирательство	Кооперирование во время охоты и групповая защита	Общественный образ жизни, поддержание огня, примитивная речь	Коллективная деятельность, забота о ближнем, продвинутая речь	Настоящая речь, абстрактное мышление, развитие сельскохозяйственного и промышленного производства, техника, наука, искусство

Дадим краткую характеристику каждому из этих этапов становления человека.

Рамапитек — останки ископаемой крупной обезьяны, по строению зубов оказавшейся промежуточной между современными человекообразными обезьянами и человеком. Жил около 14-8 млн лет назад.

Австралопитеки (от лат. *australis* — южный, греч. *pithekos* — обезьяна) — самые древние, переходные от обезьян к человеку формы, найденные в Южной Африке и вымершие свыше 2 млн лет назад. Эволюция их продолжалась 8 млн лет. Австралопитеки ходили на двух ногах при выпрямленном положении тела, жили в пещерах, на безлесных пространствах. Их челюсти были слабо развиты. В качестве орудий для ударов использовали камни, палки, крупные кости конечностей копытных животных, для резки и рубки применяли нижние челюсти и лопатки тех же животных. Австралопитеки были всеядными. В этот период завершились морфологические перестройки, связанные с прямохождением, масса головного мозга увеличилась до 650 г. Концевые фаланги пальцев короткие и плоские, как у современного человека. Вместе со скелетом "Человека умелого" найдены грубые галечные орудия самой ранней культуры в истории человечества, отсюда и название — "Человек умелый".

Древнейшие люди (архантропы) — ранняя стадия становления человека. Предками их были различные ветви вида "Человек умелый": представлены значительным числом форм (питекантроп — о. Ява, синантроп — Китай, гейдельбергский человек — близ Гейдельберга (Германия) и др.). Внешне они были очень похожи на современного человека, хотя строение черепа имело такие примитивные черты, как низкий, покаты́й лоб, мощное развитие надбровного валика, отсутствие подбородочного выступа; масса мозга достигала 1000 г, но форма его также была примитивной. Рост мужчины был 160 см. Они — носители культуры отщепов и рубил. По-видимому, им была свойственна примитивная речь. Речь, умение мыслить словами называют второй сигнальной системой, она характерна только для человека. Древнейшие люди освоили огонь. Они далеко расселились на территории Старого Света. Время их существования 1,5 млн — 200 тыс. лет.

Древние люди (палеоантропы) — жили 200-400 тыс. лет назад. Представители этой стадии названы неандертальцами. Название этого вида связано с долиной Неандерталь в Германии (XIX в.), где впервые были найдены останки этих людей. В ископаемом виде они найдены еще в четырехстах местах Северного полушария Евразии. По времени с эпохой неандертальцев совпала эпоха Великого оледенения. При большой массе мозга и черепа обладали еще примитивными чертами: низкий лоб и затылок, большой надглазничный валик, слабое развитие подбородочного выступа. Речь, по-видимому, была еще нечленораздельной. Этот вид сначала своего возникновения дал две ветви эволюции: одна была представлена людьми звероподобными, очень крупными, но по строению бывшими ближе к древнейшим людям: они являлись тупиковой ветвью эволюции. Люди другой ветви были меньше ростом и менее развиты физически, но по морфологическим признакам были ближе к современному человеку. Они жили большими стаями, у них было разделение труда между мужчинами и женщинами. Речь была еще примитивна, но логическое мышление уже было развито. Лишь те племена, где начинали сохранять стариков, учиться у

них и перенимать жизненный опыт, получали преимущество в борьбе за существование.

Человек разумный (неоантроп) — существует 40 тыс. лет. Представителем неоантропов является кроманьонец. Первая находка была сделана на юге Франции близ местечка Кро-Маньон. Затем их останки были найдены в восточном Средиземноморье, в Передней Азии, на юго-востоке Европы. Отсюда кроманьонцы расселились по всей Земле и слились с наиболее прогрессивными неандертальцами. Они характеризуются небывалым психическим развитием. Главной чертой было развитие интеллекта, способности к искусству. Они охраняли слабых, женщин, детей, стариков — и этим обеспечили свое процветание. Важнейший вклад этих людей в историю человечества — приручение ряда животных и развитие земледелия, выведение культурных растений.

Есть другая гипотеза, утверждающая, что человек современного типа возник 200 тыс. лет назад в Восточной Африке. В соответствии с этой версией питекантроп, синантроп и неандерталец — не предки современного человека, а различные группы гоминид (человекообразных существ), вытесненных "Человеком прямоходящим" из Восточной Африки. В пользу данной гипотезы свидетельствуют генетические исследования, которые не всеми антропологами и палеонтологами признаются надежными.

Согласно другой точке зрения, только архаичные люди возникли в Африке, а современные — там, где они живут сейчас. Человек покинул Африку не менее 1 млн лет назад. Эта гипотеза основывается на палеонтологическом сходстве между современными людьми и далекими предками, жившими когда-то в этих местах.

Какая из этих гипотез справедлива, сказать пока невозможно, так как палеонтологическая летопись неполна и промежуточные виды между человеком и обезьянами до сих пор в полном объеме неизвестны.

16.4. Эволюция культуры человека. Социобиология

*Телесная красота человека есть
нечто скотоподобное, если под ней
не скрывается ум.*

Демокрит

Одновременно с эволюцией человека как биологического вида происходила эволюция его культуры. Культура — это исторически определенный уровень развития общества и человека, его духовных, материальных и творческих способностей, а также его взаимоотношения с окружающей средой. Культура — это все, что создано человеком, в отличие от данного ему природой. Она может быть оценена, основываясь на материале орудий труда, созданных и применяемых человеком.

Каменный век — эпоха применения каменных орудий, делится на палеолит (древнекаменный век), мезолит (среднекаменный век) и неолит (новокаменный век). В нижний палеолит (австралопитек и "Человек прямоходящий") было преобладание галечных орудий, ручных рубил; в средний палеолит (неандерталец) было преобладание орудий из отколотых частей камня; в верхний палеолит (от 38 тыс. лет) появилось пещерное искусство у "Человека разумного".

В мезолите (среднекаменный век) преобладал охотничье-собирательный тип общественного устройства.

В неолите (новокаменный век) — 9-6 тыс. лет тому назад, получившем название неолитической революции, произошло одомашнивание диких животных, переход к выращиванию растений и оседлому образу жизни. Из охотничье-собирательного хозяйства превратилось в производящее скотоводческо-земледельческое. Виды домашних животных и культурных растений, выведенные с помощью искусственного отбора и гибридизации, гончарное производство, ткачество, металлургия и другие результаты неолитической революции широко используются и сейчас.

Следующие стадии культуры сведены в так называемую систему "трех веков" — **медный, бронзовый, железный**. Они

имели каждый свою датировку, но потом выяснилось, что это скорее стадии развития отдельной культуры, и их время зависит от времени развития данной культуры. Последовательность смены "веков" не везде соблюдается, и в целом данная схема ныне признается неудовлетворительной, хотя ничего лучшего пока не предложено.

В частности, считается, что развитие цивилизации идет через подражание. В традиционных обществах подражают старикам, и такое общество консервативно и мало способно к развитию. В прогрессивных обществах подражают талантливым, и такое общество способно к более быстрому развитию.

Для нормального развития необходимы кризисы, которые требуют напряжения сил общества для соответствующего ответа на вызов ситуации. Человек достигает цивилизованного состояния не вследствие биологических дарований (наследственности) или легких условий географического окружения, а в процессе удачного реагирования на вызов ситуации особой трудности, воодушевляющей на беспрецедентное усилие. Прогресс общества определяется ответом на вызов объективных условий существования.

Способность хранить и перерабатывать информацию принадлежит к числу наиболее важных свойств живых систем. В ходе биологической эволюции эта способность необычайно усилилась, качественно и количественно. В живых системах используются главным образом три формы информации:

- 1) генетическая информация;
- 2) информация в нервной системе и головном мозге;
- 3) экстрасоматическая информация, хранящаяся вне организма в записях, книгах и т. д.

Эти три формы информации образовались последовательно, одна за другой, в ходе эволюции. Хранение генетической информации началось с возникновением жизни на Земле 3-4 млрд лет назад и быстро развивалось, пока примерно через 10 миллионов лет после возникновения земноводных, пресмыкающихся и млекопитающих не вышло на плато на уровне около 10^{10} битов генетической информации.

Человечество также существует как биологический вид и как социальный феномен благодаря трем каналам информации. Первый — генетический — присущ всей живой природе. Материальным его носителем является ДНК. Совокупность генов в организме (геном) и в популяции (генофонд) нестабильны. Мутационный процесс меняет признаки организма случайно, не интересуясь их судьбой. Вторым источником изменчивости генов — генетическая рекомбинация при скрещивании. В каждом новом поколении появляются новые комбинации, порождающие новые фенотипы. Не выдержавшие испытания носители неудачных признаков относительно редко оставляют потомство и уступают место более устойчивым организмам. Следующее поколение будет немного иным, чем предыдущее. Так идет биологическая эволюция — за счет контролируемых средой изменений в генетическом канале передачи информации.

Второй канал информации у человека сохраняется в нервной системе и в головном мозге. Количество информации, хранящейся в нервной системе и в головном мозге, прежде было на много порядков меньше. Лишь с появлением земноводных количество этой информации становится сравнимым с количеством генетической информации, а с появлением млекопитающих и особенно человека количество информации, хранящейся в нервной системе и в головном мозге, превосходит количество генетической информации на много порядков. Человек располагает около 10^{10} битами генетической информации и более 10^{13} битами информации в головном мозге и нервной системе, причем обладает еще доступом к еще большему количеству экstrasоматической информации в библиотеках и других хранилищах. История эволюции хранения информации в живых существах наглядно представлена на рис. 16.2.

Третий канал информации, существующий у человечества и в развитом виде только ему присущий, — лингвистический. В устной речи информация кодируется звуками (фонемами), которые объединяются в слова, а слова — в предложения. С незапамятных времен по этому каналу передавались сведения о простейших способах выжить, потом обряды и обычаи,

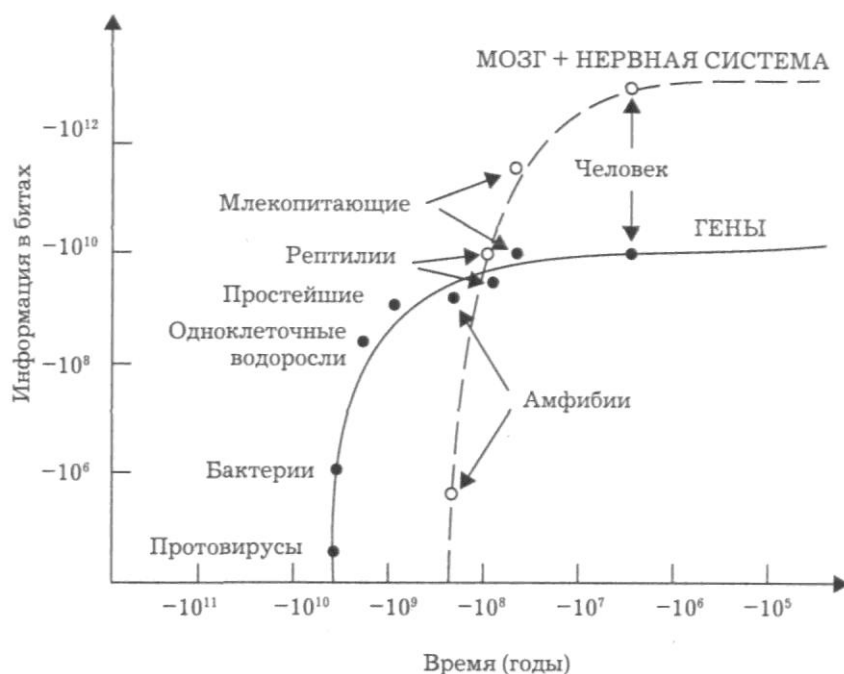


Рис. 16.2. Развитие генетической и нейронной информационной емкости в ходе биологической эволюции

технологии и религии, философские учения, производственные отношения и политические системы. Во втором канале, как и в первом, от поколения к поколению накапливаются изменения. Есть в этом канале и аналог генетической рекомбинации — новые идеи рождаются на стыке информации языков, культур. Внешней средой для второго канала являются условия среды — отношения людей между собой.

Социобиология возникла в 1975 г. в США на базе биологических (популяционной генетики, этологии, экологии и эволюционной теории) и социогуманитарных (социологии, социальной психологии, этнографии) наук. Социобиологи поставили задачу установления биологических основ социального поведения всех видов животных, включая человека. Речь идет об альтруисти-

ческих, эгоистических, агрессивных формах поведения, а также о сексуальных (ухаживание, выбор партнера, выращивание потомства). Родоначальником этого направления является автор книги "Социобиология: новый синтез" Э. Уилсон. Безусловно, сильная сторона социобиологии — попытка синтеза двух рядов знаний, условно говоря, синтез биологии и культуры. По мнению социобиологов, формирование человеческого мозга произошло в результате ускорения процессов нейроанатомической и поведенческой эволюции, не имеющее прецедентов во всей истории жизни. Причиной такого ускорения является коэволюция — взаимодействие, в котором культура порождена и оформлена биологическими императивами, а биологические черты изменяются генетическим путем под влиянием культуры. Центральный тезис социобиологии звучит так: каждая форма социального поведения обязательно имеет генетическую основу, которая заставляет индивидов действовать так, чтобы обеспечить успех для себя и сородичей.

Предметом моды в мире науки сегодня является и биополитика. **Биополитика** — междисциплинарная отрасль знаний (синтез биологии, социологии и политологии), исследующая формы межорганизменных взаимодействий на различных уровнях биологической эволюции, включая человека. Развитие биополитических исследований сегодня происходит в нескольких направлениях: выясняются эволюционно-биологические корни государства и общества, исследуются биологические основы поведения индивидов и групп в политических ситуациях, ведется поиск психофизических, биохимических и биофизических коррелятов политического поведения. В последнее десятилетие получены данные о наличии общих элементов в поведении человека и других живых существ: наличие открытых программ поведения, когда наследуется не конкретная реакция, а лишь общая канва поведения. Биополитика как подход к моделированию и оптимизации человеческих социальных структур предлагает взять на вооружение биологические механизмы нейтрализации агрессии.

16.5. Проблемы поиска внеземных цивилизаций

*У мира я в плену, — я это вижу
ясно:*

*Своею тягощусь природою
всечасно.*

*Ни тот, ни этот мир постичь
я не сумел —*

*Пытливый разум свой я
напрягал напрасно.*

Омар Хайям

Первые в истории науки оценки числа пригодных для жизни планет были получены и нашли, что в Галактике может быть 10^5 - 10^6 звезд с планетой типа Земли, движущейся по орбите, целиком расположенной в благоприятной для жизни температурной зоне.

С уточнением наших представлений о возрасте жизни на Земле все более снижаются оценки деятельности периода предбиологической эволюции на нашей планете. В западно-гренландских гнейсах возраста 3,83 млрд лет были обнаружены следы существования жизни. При возрасте Земли около 4,6 млрд лет для возникновения жизни на ней понадобилось, следовательно, менее 0,8 млрд лет. Возможно, жизнь ко времени формирования гренландской породы уже существовала на Земле сотни миллионов лет. Расчеты положения и ширины экзон в окрестностях типичных звезд показали, что экзоны на несколько порядков уже, чем принято считать. Например, по этой оценке экзона в Солнечной системе простирается всего лишь от 0,958 до 1,004 а.е. Так что нам очень повезло, что Земля попала в нее. На основании этих результатов делается заключение, что жизнь и цивилизация в Галактике распространены гораздо меньше, чем обычно считается. Крайней формой тенденции к снижению оценки возможной распространенности жизни и цивилизации во Вселенной стало мнение И. С. Шкловского о вероятной уникальности нашей цивилизации и разума во Вселенной, встретившее, однако, серьезные возражения.

Возможно, что в среднем время возникновения жизни на планете типа Земли менее 10^9 лет. Отсюда получается, что, если благоприятные для жизни условия встречаются достаточно часто, то и жизнь широко распространена во Вселенной.

Сложнее вопрос о распространенности разума. Мы знаем примерно что на Земле разум появился через 4,5 млрд лет после образования планеты и после 4 млрд лет существования жизни. Мы спокойно можем утверждать, что для появления разума требуется не менее 10 млрд лет. Поэтому нельзя исключать того, что какие-то формы разума могут быть весьма распространены в Галактике и вообще в наблюдаемой Вселенной. Мы живем на небольшой планете, движущейся вокруг одной из бесчисленного множества звезд Вселенной. И поэтому трудно примириться с мыслью о том, что мы одиноки в беспредельной Вселенной. Большинство современных ученых считают, что жизнь — распространенное явление во Вселенной и существует множество миров, на которых обитают цивилизации.

Фактически наиболее распространенной концепцией о внеземных цивилизациях является так называемая гипотеза "земного шовинизма", предполагающая, что мы должны найти подобных себе и к тому же обладающих современной нам технологией. Это положение, совершенно неприемлемое, как нам представляется, с точки зрения научного анализа, к сожалению, еще не изжило себя. В принципе, не исключается даже возможность существования небелковых форм жизни, совершенно отличных от тех, которые распространены на Земле.

Из анализа достижений астрофизики следует, что ведущей тенденцией в развитии концепции множественности обитаемых миров за последнее столетие является систематическое увеличение числа астрономических объектов, рассматриваемых как возможное пристанище жизни. Однако одновременно с этим успехи биологии, кибернетики и других наук меняют и сами понятия жизни и цивилизации, в связи с чем необходимы обобщения этих понятий. Первое положение, которое мы считаем важным обосновать, заключается в том, что нет никаких оснований считать Землю и Солнечную систему уникальными объектами. Большие

успехи достигнуты в последнее время в области обоснования множественности существующих планетных систем. Успешно разрабатывается теория, описывающая процесс образования планетных систем путем конденсации одновременно со звездой из межзвездного газа и пыли. Наблюдения ближайших звезд с целью обнаружения около них планет находятся на пределе возможностей наземной астрономии. Наиболее тщательные и однородные наблюдения изменения положения звезды Барнарда в течение 1950-1974 гг. подтверждают наличие по крайней мере двух спутников с массами порядка 1 и 0,4 массы Юпитера. Подобные наблюдения указывают также на наличие планет у звезды Эридана и др. Таким образом, нет оснований сомневаться в большой распространенности планетных систем с подходящими для жизни условиями. Крупным открытием является обнаружение сложных органических молекул в астрономических объектах, которые необходимы для зарождения жизни.

Рассмотрим оценки ожидаемого числа внеземных цивилизаций в нашей Галактике. Число внеземных цивилизаций в нашей Галактике может быть оценено на основе формулы американского ученого Ф. Д. Дрейка:

$$N = n P_1 P_2 - P_3 P_4 t / T,$$

где n — полное число звезд в Галактике;

P_1 — вероятность наличия планетной системы;

P_2, P_3, P_4 — вероятность наличия на планете жизни, разума и цивилизации;

t — средняя продолжительность эры цивилизации;

T — возраст Галактики.

В этой формуле известно, что $n = 2 \cdot 10^{11}$, а $T = (15 - 20) \times 10^9$ лет.

Были приняты следующие значения этих величин: скорость звездообразования в Галактике — 20 звезд в год; доля из них с планетами — 50%; число планет, пригодных для обитания для каждой планетной системы — 1; доля из них планет, на которых развивается жизнь, — 20%; доля планет с жизнью, на которых появляется разумная жизнь, — 100%; доля планет с разумной

жизнью, на которых развивается техническая цивилизация, желающая установить контакты с другими, — 50%. Эта величина совершенно неопределенная. Она может составлять и величину, сопоставимую с возрастом Галактики, т. е. миллиарды лет и миллиарды цивилизаций, одновременно существующих в нашей звездной системе. Но если согласиться с предсказаниями скорой гибели нашей цивилизации (через десятки лет, согласно известным расчетам Римского клуба — международного объединения экономистов и представителей других наук, рассматривающих различные модели развития экономики и экологии Земли в будущем), то и число одновременно существующих цивилизаций в Галактике может составлять соответственно несколько десятков. Однако нет никаких объективных оснований полагать, что во Вселенной действует некий фатальный закон, уничтожающий любую цивилизацию через несколько лет после вступления ее в стадию коммуникативности, и что этот закон уже начинает проявлять себя на Земле. Безусловно, возможно уничтожение земной цивилизации в результате разрушительной войны, истощения природных ресурсов или экологической катастрофы. Это произойдет неизбежно, если не будут предприняты меры для эффективного решения указанных проблем.

Не все ученые столь оптимистически относятся к проблеме внеземных цивилизаций. Сторонники противоположной точки зрения считают, что жизнь, и особенно разумная жизнь, — исключительно редкое, может быть, и уникальное явление во Вселенной. При этом обращается внимание на следующее:

1. Вероятность того, что в процессе эволюции неживой материи возникает жизнь (а тем более разумная жизнь!), очень мала, так как в ходе такой эволюции появляется огромное число препятствий на пути образования и последующего усложнения живых клеток.

2. Ничего конкретного о небелковых формах жизни науке неизвестно.

3. В Солнечной системе высокоорганизованные формы жизни есть только на Земле. На Луне и, возможно, на Марсе вопреки ожиданиям не оказалось даже микроорганизмов, обладающих

большой приспособляемостью к условиям обитания. Ушли в прошлое представления о каких-либо высших формах жизни на Венере и Марсе.

4. Нет ни одного неопровержимого доказательства, что Землю когда-либо посещали посланцы других миров.

5. Радиопоиски сигналов внеземных цивилизаций пока не увенчались успехом.

6. До сих пор не обнаружено никаких признаков инженерной (или какой-либо другой) деятельности внеземных цивилизаций, а это очень странно, если полагать, что внеземных цивилизаций много и некоторые из них вполне могли достигнуть высокого уровня развития.

Нередко с деятельностью внеземных цивилизаций пытаются отождествить некоторые неопознанные летающие объекты (НЛО). Появление каких-то странных объектов на небе люди наблюдали со времен египетских фараонов, но первые официальные наблюдения НЛО обычно связывают с сообщениями о появлении НЛО в конце 50-х гг. прошлого века. В США и в ряде других стран, включая нашу, стали активно работать различные группы и комиссии, которые занимались сбором информации и исследованием феномена, иногда именуемого АЯ (аномальные явления). Накоплены многие тысячи наблюдений НЛО. Эти объекты, по свидетельствам очевидцев, перемещаются по изломанным траекториям, быстро изменяют скорость движения, оказывают влияние на двигатели автомобилей, электроприборы и другие технические устройства.

Большинство аномальных явлений оказались связанными с запусками искусственных спутников Земли и различными техническими экспериментами в атмосфере, астрономическими явлениями (яркие планеты), естественными атмосферными эффектами (необычное свечение неба, редкие формы облаков и др.). Неразгаданные НЛО вызывают оживленные споры и самые экзотические гипотезы. Например, допускают, что некоторые НЛО сходны с миражами, которые могут одновременно видеть множество людей. Выдвинута гипотеза и о существовании в космосе и на Земле "параллельных миров", с которыми при оп-

ределенных условиях якобы способна контактировать психика людей (что и происходит во время появления НЛО). Наконец, есть сторонники гипотезы о том, что НЛО связаны с деятельностью внеземных цивилизаций (и даже появлением на Земле различных типов гуманоидов). Еще раз подчеркнем, что до сих пор внеземные цивилизации относятся к числу гипотетических объектов, поиск которых представляет большой интерес. Причем ученые не только ищут внеземные цивилизации, но и в теоретическом плане исследуют их возможные модели. Несомненно, что внеземные цивилизации и НЛО — это не одно и то же: большинство НЛО вообще не имеет никакого отношения к внеземным цивилизациям, а настоящие внеземные цивилизации (если они существуют!) могут проявлять себя и не в виде НЛО.

Таким образом, проблема внеземных цивилизаций на самом деле сложнее, чем может показаться с первого взгляда. Можно спорить и приводить новые доводы в пользу или против реальности внеземных цивилизаций, но лишь дальнейшие наблюдения и эксперименты позволят выяснить, существуют ли где-нибудь обитаемые миры, или мы одиноки, по крайней мере, в пределах нашей Галактики.

16.6. Проблема связи с внеземными цивилизациями

*Существуют великие люди, великие
среди маленьких людей ... Но
существует еще класс людей,
которые стоят заведомо выше
этого. Они создавали Вселенную и у
них, у создателей Вселенной,
чистые руки, не запятнанные ни
единой каплей человеческой крови.*

Б. Шоу

Наша цивилизация, как способная войти в контакт с другими, имеет малый возраст. Учитывая, что Солнечная система — объект второго поколения и ее возраст около 5 млрд лет, а воз-

раст старейших объектов Вселенной может быть около 20 млрд лет, становится очевидным, что возраст других цивилизаций (в частности, коммуникативный возраст) может быть неизмеримо большим, чем наш. Поэтому они могут знать и много больше нашего, но их знания, во всяком случае, должны содержать то, что знаем мы.

Отсюда можно сделать несколько выводов.

1. Для цивилизации есть очень большое, вероятно, неограниченное поле деятельности в области познания Вселенной.

2. Наш современный уровень составляет лишь ничтожную часть от этой фазы, и поэтому встретить "братьев по разуму" на той же ступени развития, что и мы, представляется крайне маловероятным.

3. Высокоразвитые цивилизации знают и широко используют законы, которые нам еще неизвестны. Это последнее обстоятельство необходимо учитывать при разработке стратегии поиска внеземных цивилизаций.

Учеными обсуждаются в настоящее время две концепции и, соответственно, две диаметрально противоположные стратегии поиска внеземных цивилизаций:

1. Концепция "земного шовинизма". Каждая цивилизация стабилизируется или гибнет при уровне развития, близком к нашему. В этом случае стратегией поиска внеземных цивилизаций является нахождение планетной системы, подобной нашей и использующей известную нам технику связи. Проводится поиск монохроматических сигналов от всех ближайших звезд, похожих на Солнце, с постепенным увеличением радиуса обзора.

2. Эволюционная концепция. Предполагается возможность много более высокого развития, чем наш современный уровень. Стратегией поиска таких суперцивилизаций является нахождение цивилизаций, обладающих более мощными передатчиками и высокоразвитой инженерной деятельностью. Исследования проводятся в двух направлениях. Во-первых, изучается природа мощных (и часто наиболее далеких) известных источников излучения во Вселенной. Во-вторых, проводится поиск новых мощных источников излучения, особенно в малоисследованных

диапазонах электромагнитного спектра. В настоящее время известен класс объектов, обладающих при относительно малых размерах наиболее мощной энергетикой — это ядра галактик и квазары.

Проведенные наблюдения, сопоставление и анализ научных данных указывают на необходимость сосредоточения усилий на второй возможности. При этом основное внимание надо обратить на поиск новых объектов и исследование ядер галактик и квазар. Здесь возможны две гипотезы. Одна предполагает, что сами ядра галактик и квазары связаны с деятельностью цивилизаций. Вторая — что цивилизации используют огромный поток излучения, испускаемый ядрами галактик и квазарами, подобно тому, как мы используем солнечную энергию.

Таким образом, астрофизические исследования, данные биологии, кибернетики и других наук показывают большую вероятность обнаружения внеземных цивилизаций. В настоящее время необходим кардинальный пересмотр исходных представлений о том, какими могут оказаться эти цивилизации и какова должна быть методика их поиска. В этом отношении плодотворной концепцией является предположение о существовании суперцивилизаций (в которую может, в частности, превратиться и наша). Основными методами их обнаружения является ряд экспериментов.

Во-первых, поиск и исследование источников чернотельного излучения с максимумом интенсивности в диапазоне миллиметровых инфракрасных волн с целью выявления очень больших конструкций. Здесь кажется очень перспективным синтезирование изображения исследуемых источников с помощью интерферометров со сверхдлинной базой или выявление очень компактных объектов методом мерцания.

Во-вторых, поиск связанных сигналов от подозреваемых объектов. Весьма перспективным представляется диапазон миллиметровых волн, где находится максимум реликтового фона.

Оценки возможности обнаружения показывают, что в результате реализации тщательно подготовленных экспериментов, основанных на эволюционной концепции и использующих новые

крупнейшие радиотелескопы, программа поиска внеземных цивилизаций может дать положительные результаты даже в течение ближайших десятилетий и огромный объем информации, накопленной во Вселенной за миллиарды лет, станет доступным и для человечества.

ВЫВОДЫ

1. Человек как предмет естественно-научного познания может рассматриваться в трех аспектах: 1) происхождение; 2) соотношение в нем естественного и гуманитарного; 3) изучение специфики человека методами естественно-научного познания. Антропогенез — один из разделов антропологии (науки о человеке), изучающий происхождение и эволюцию человека, становление его как вида в процессе формирования общества.

2. В науке господствует вытекающая из теории эволюции Дарвина, концепция происхождения человека от высокоразвитых предков современных обезьян. Она получила в XX в. генетическое подтверждение, поскольку из всех животных по генетическому аппарату ближе всего к человеку оказались шимпанзе.

3. Сходство человека и животного определяется вещественным составом, строением и поведением, одинаковостью эволюции человеческого зародыша и животного, а также наличием у человека рудиментарных органов. Главные отличия человека от животных: понятийное мышление, речь, труд — стали теми путями, по которым шло обособление человека от природы.

4. Происхождение человека — уникальное явление, при котором осуществляется переход от биологических к социальным процессам. Под критериями человека понимается некое фундаментальное свойство, в котором отразилась бы специфичность человеческого общества. В качестве таких критериев обычно рассматриваются: а) наличие труда как сугубо человеческой деятельности; б) сочетание прямохождения, свободной руки и сложного мозга.

5. Морфологическое развитие человеческого мозга и становление первичной социальной организации завершилось

30-40 тыс. лет назад. Переломный момент в эволюции языка скорее всего произошло более 1 млн лет назад в экваториальной Африке.

6. Линия эволюции человека выстраивается следующим образом: "Человек умелый" (австралопитек) — "Человек прямоходящий" (питекантроп и синантроп) — "Человек неандертальский" — "Человек разумный" (кроманьонец). После кроманьонца человек не изменялся генетически, тогда как его социальная эволюция продолжалась.

Вопросы для контроля знаний

1. *Какие гипотезы происхождения человека вам известны?*
2. *Какие сходства и отличия человека и животных вы знаете?*
3. *Что способствовало появлению у человека речи и абстрактного мышления?*
4. *Что понимается под способностью человека к труду?*
5. *Какое место занимает человек в системе живого?*
6. *Каковы гипотезы Ч. Дарвина и Э. Геккеля о происхождении человека?*
7. *Какие антропологические данные подтверждают естественную эволюцию человека?*
8. *Как вы думаете, продолжается ли в настоящее время эволюция человека? Обоснуйте свой ответ.*
9. *Охарактеризуйте эволюцию культуры человека.*
10. *Человек есть разумное существо, субъект труда, социальных отношений и общения. Можно ли отнести это определение к ребенку?*
11. *Каким образом можно осуществлять поиск внеземных цивилизаций?*

Глава 17. ЧЕЛОВЕК

*Человек есть мера всем вещам:
существованию — существующих и
несуществованию —
несуществующих.*

Протагор (V в. до н. э.)

17.1. Физиология человека

Физиология человека как наука о жизнедеятельности здорового организма человека и функциях его составных частей: клеток, тканей, органов и систем — зародилась в XVIII столетии. Основоположником физиологии как самостоятельной отрасли знаний является английский ученый Уильям Гарвей, описавший большой и малый круги кровообращения в 1628 г. Физиология человека базируется на функционировании основных систем организма людей, таких как кровеносная, лимфатическая, пищеварительная, нервная, дыхательная и др.

Физиологи Д. Экклс, Э. Хаксли, А. Ходжкин установили ионные механизмы важнейших физиологических процессов — возбуждения и торможения, за что были отмечены Нобелевской премией (1963 г.). Как известно, нервы и мышцы относятся к возбудимым образованиям. Это значит, что в ответ на раздражение в них возникают различные электрические потенциалы. Согласно ионно-мембранной теории биоэлектрических потенциалов, созданной в середине XX столетия А. Ходжкиным, Э. Хаксли, Б. Катцом, они обусловлены неодинаковой концентрацией ионов K^+ , Na^+ , Cl^- внутри и вне клетки и различной проницаемостью для них поверхностной мембраны. Позже были открыты медиаторы (нейротрансмиттеры), что легло в основу учения о химическом механизме передачи нервного импульса.

Разработка И. П. Павловым учения об условных рефлексах позволила ему не только получить подтверждение сформулированной И. М. Сеченовым концепции о зависимости всех функций организма от окружающей среды, но и создать новое учение — физиологию высшей нервной деятельности человека и животных.

Организм и окружающая среда — это единая система, так как между ними происходит непрерывный обмен веществом и энергией (рис. 17.1). Энергия необходима организму для поддержания всех его жизненно важных функций. Она выделяется за счет окисления сложных органических соединений, т. е. белков, жиров и углеводов. Резервирование энергии происходит в основном в виде макроэргических связей АТФ (аденозинтрифос-форной кислоты).

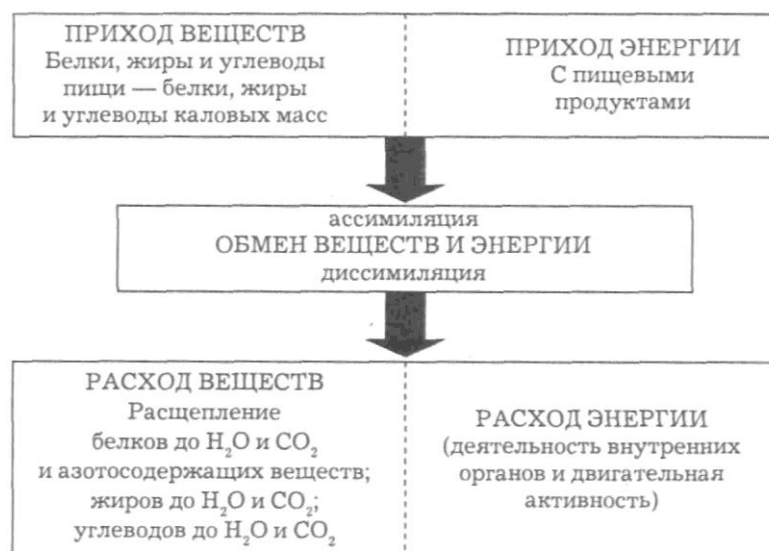


Рис. 17.1. Понятие об обмене веществ и энергии

АТФ — это универсальный источник энергии в организме человека. Высвобождение энергии происходит за счет гидролиза

АТФ, связанного с разрывом химической связи концевой фосфатной группы. Часть этой энергии выделяется в виде теплоты, необходимой для терморегуляции. Так, при сокращении мышц около 80% энергии теряется в виде тепла и только 20% превращается в механическую работу.

Процессы обмена веществ, происходящие на клеточном и тканевом уровнях в организме человека, называют метаболизмом, который состоит из двух противоположных процессов: анаболизма и катаболизма. **Анаболизм** — это процесс биосинтеза органических веществ. Они обеспечивают рост, развитие организма, обновление его структур и накопление структурной энергии. **Катаболизм** — это процесс расщепления или окисления сложных молекул до простых веществ с выделением энергии и резервированием ее в виде АТФ. Эти процессы обеспечивают в организме белковый, углеводный и жировой обмены.

Белки — это биополимеры, в состав которых входят около 20 аминокислот, содержащих азот. Функции белков многообразны: пластическая (строительная), энергетическая, транспортная, ферментативная и др. При сгорании 1 г белка в организме высвобождается 4,1 ккал энергии. Суточная потребность человека в белках не менее 85-90 г.

Жиры — это эфиры высших жирных кислот и глицерина. Их важнейшие функции — энергетическая и структурная. Так, при сгорании в организме 1 г жира высвобождается 9,3 ккал энергии. В сутки потребность человека в жирах составляет от 80 до 100 г. Жиры депонируются в организме в подкожной жировой клетчатке и в оболочках вокруг внутренних органов.

Углеводы — это вещества, сладкие на вкус, хорошо растворимые в воде. Их можно условно разделить на 3 класса соединений: моносахариды (глюкоза); дисахариды (мальтоза); полисахариды (крахмал). Они выполняют энергетическую и пластическую функции, а также входят в состав нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и АТФ. Потребность в углеводах составляет в сутки 350-450 г. Запасы углеводов в организме человека в виде животного крахмала — гликогена — имеются в печени и в скелетных мышцах.

Таким образом, соотношение в пищевом рационе основных питательных веществ составляет 1 : 1 : 4 (белков, жиров, углеводов).

В состав пищи входят также вода, минеральные (неорганические) вещества и витамины. Витамины — это особая группа веществ, не синтезируемых вовсе или синтезируемых в малых количествах в организме человека. Они необходимы для нормального обмена веществ, роста, развития человека, поддержания его здоровья. Все витамины подразделяются на водо- и жирорастворимые. К первой группе относятся витамин С, витамины группы В. Они содержатся в основном в продуктах растительного происхождения (овошах, фруктах). Источником жирорастворимых витаминов (А, D, Е и К) является пища животного происхождения (молоко, яйца, мясо, печень). Некоторые витамины (К и В₁₂) синтезируются микрофлорой кишечника. Недостаточные поступления витаминов в организм сопровождается различными заболеваниями (авитаминозы).

В состав внутренней среды организма входят кровь, лимфа и тканевая жидкость. Она обладает динамическим постоянством констант — гомеостазом, являющимся условием независимого существования организма человека.

Функциями **кровеносной системы** являются следующие:

- 1) поддержание гомеостаза;
- 2) транспортная (перенос газов, питательных веществ, продуктов их метаболизма);
- 3) терморегуляторная;
- 4) защитная (участие в иммунных реакциях);
- 5) экскреторная (выделительная) и др.

Объем крови в организме человека составляет 4-6 литров (или 6-8% от массы тела). Всего 40-45% крови движется по сосудам (в норме); при нагрузке на организм кровь выходит из депо: селезенки, печени, легких и ее обмен увеличивается. Система кровообращения человека — это сердце и замкнутая система кровеносных сосудов, включающая артерии, вены, капилляры. Благодаря сокращениям сердца кровь поступает в артерии, вены, капилляры. Сокращаясь, сердце выбрасывает пор-

цию крови (70 мл) в артерии, при расслаблении в него вливается кровь из вен. Капилляры образуют густую сеть длиной 200 000 км. Масса сердца колеблется в пределах 200-400 г, по объему оно сопоставимо с кулаком. Сердце сокращается ритмично со средней частотой 75 раз в минуту. Объем крови, перекачиваемой сердцем за 1 минуту, составляет 6 л, но может достигать и 30 л/мин, если человек находится в состоянии возбуждения или выполняет большую физическую нагрузку. В нормальных условиях у взрослого человека максимальное (систолическое) давление крови в плечевой артерии составляет 110-125 мм рт. ст., а минимальное (диастолическое) — 70-85 мм. рт. ст.

Система **лимфообращения** осуществляет постоянный отток межтканевой жидкости по направлению к сердцу. Лимфа служит для поддержания объема и состава тканевой жидкости, всасывания и переноса питательных веществ из пищеварительного канала в венозную систему, а также для участия в иммунных реакциях организма посредством доставки лимфоцитов, антител и др. Лимфа поддерживает белковое постоянство крови. Ее движению способствуют ритмические сокращения стенок лимфатических сосудов и отрицательное (присасывающее) внутригрудное давление.

Основная функция **органов дыхания** — обеспечение тканей организма человека кислородом и освобождение их от углекислого газа. Внутриклеточное дыхание обеспечивает освобождение энергии, необходимой для поддержания процессов жизнедеятельности. Образующийся при этом углекислый газ (CO_2) переносится кровью к легким и удаляется с выдыхаемым воздухом. Дыхание происходит непрерывно и автоматически благодаря нервным импульсам, поступающим из дыхательного центра, расположенного в продолговатом мозге. Несмотря на автоматизм дыхательного цикла, его работа контролируется корой больших полушарий. Взрослый человек в нормальном состоянии за один дыхательный цикл вдыхает и выдыхает в среднем около 500 см³ воздуха, а при дополнительном (после нормального вдоха) максимальном вдохе можно вдохнуть еще 1500-3000 см³ воздуха. Жизненная емкость легких равна суммарной величине

дыхательного и дополнительного объемов вдоха и выхода (3-5 литров).

Пищеварительная система человека осуществляет механическую и химическую переработку пищи для всасывания питательных веществ через стенки пищеварительного тракта и поступление их в кровь и лимфу. В пищеварительном аппарате происходят сложные физико-химические превращения пищи: от формирования пищевого комка в ротовой полости до всасывания и удаления непереваренных ее остатков. Эти процессы осуществляются в результате двигательной, всасывающей и секреторной функций системы органов пищеварения. Все пищеварительные функции регулируются нервным и гуморальным путем. Нервные центры, регулирующие функции пищеварения, находятся в разных отделах головного мозга (продолговатый мозг, гипоталамус и кора головного мозга), а гормоны большей частью образуются в самом желудочно-кишечном тракте.

К **выделительным органам** относятся почки, кожа, потовые, слюнные железы, легкие. Функции почек многообразны:

- 1) участие в регуляции водного баланса организма;
- 2) участие в постоянстве ионного баланса;
- 3) регуляция осмотического давления во внутренней среде организма;
- 4) поддержание кислотно-щелочного равновесия и др.

Основная функция почек — удаление из организма вредных и чужеродных для него веществ путем образования и выведения мочи. Почки каждую минуту пропускают более 1 литра крови, а всего ими за сутки фильтруется и очищается 1700 л крови. Моча выделяется в количестве 1-1,5 л в сутки. В норме у здорового человека моча содержит только вредные продукты метаболизма и не должна содержать глюкозу и белок.

Наряду с нервной регуляцией функций в организме человека существует гуморальная (гормональная) регуляция с помощью биологически активных веществ — **гормонов**. Нервная и гуморальная регуляции функций в организме взаимосвязаны. Гормоны в организме человека влияют на следующие процессы:

- 1) обмен веществ и энергии;
- 2) рост и развитие;
- 3) размножение;
- 4) адаптация.

Гормоны — это биологически активные вещества, вырабатываемые специальными железами внутренней секреции, не имеющими специальных протоков. Они поступают прямо в кровь и регулируют функции органов — мишеней. Все железы внутренней секреции делятся на центральные и периферические. К центральным железам относятся гипофиз и эпифиз. Гипоталамус как структура промежуточного мозга также выделяет вещества, обладающие гормональной активностью. Периферическими железами являются щитовидная, половые, поджелудочная, надпочечники и тимус.

Нервная система обеспечивает взаимодействие организма с внешней средой и регулирует работу всех органов и систем организма. Она подразделяется на соматическую и вегетативную, а они, в свою очередь, на центральную и периферическую. Центральная нервная система состоит из спинного и головного мозга. Структурно-функциональной единицей нервной системы является нервная клетка — нейрон. Соматическая нервная система обеспечивает чувствительную и двигательную функции, а вегетативная — иннервирует все внутренние органы и железы, обеспечивая регуляцию питания, дыхания, выделения, размножения.

Особый раздел физиологии занимается изучением материальных основ психической деятельности человека. Он появился благодаря работам И. М. Сеченова и И. П. Павлова, создавших учение о безусловных и условных рефлексах как двух различных формах поведения человека. **Безусловные рефлексы** — видовые, генетически закрепленные, стереотипные формы поведения человека. Они возникают сразу, не нуждаются в выработке (например, врожденные пищевые и оборонительные рефлексы). **Условные рефлексы** — индивидуально приобретенные в процессе жизни и обучения приспособительные реакции, возникающие на основе образования временной связи между условным раздражителем и безусловно-рефлекторным актом. Данный раздел науки изучает такие сложные проявления психики человека,

как сознание, внимание, память, эмоции, мышление и др. Это высшие психические функции.

Сознание — это высшая форма отражения мозгом человека окружающего мира, передаваемая другим людям в форме слов и символов. Особенностью психических функций человека является наличие речи или 2-й сигнальной системы. Это особые условные рефлексы, вырабатываемые на слово (1-я сигнальная система — это конкретные образцы окружающего мира). Слово—это обобщающий сигнал, заменяющий конкретный предмет, явления. Поэтому И. П. Павлов слово обозначил как "сигнал сигналов" или 2-я сигнальная система. У человека благодаря 2-й сигнальной системе формируется абстрактно-логическое мышление. Речь — это исторически сложившаяся форма общения людей с помощью символов и знаков.

Благодаря высшей нервной деятельности (ВНД) у человека функционируют внимание, память, мышление. **Внимание** — это сосредоточенность, избирательная, познавательная направленность процессов, нацеленная на определенный объект, значимый в данный момент. **Память** — это способность мозга запоминать, хранить и воспроизводить полученную информацию. Мышление — это самый сложный вид мозговой деятельности человека в процессе приспособления к новым условиям и решения новых жизненных задач.

17.2. Эмоции и творчество

*Ничто — ни слова, ни мысли, ни
даже поступки наши не выражают
так ясно и верно нас самих, как
наши чувствования; в них сложен
характер не отдельной мысли, не
отдельного решения, а всего
содержания души нашей.*

К. Д. Ушинский

Деятельность человека по удовлетворению его разнообразных потребностей сопровождается проявлениями активности

человека в виде эмоциональных переживаний. **Эмоции** — особый класс субъективных психологических состояний человека, отражающих в форме непосредственных переживаний процесс и результат практической деятельности, направленной на удовлетворение его актуальных потребностей. Эмоции, утверждал Ч. Дарвин, возникли в процессе эволюции как средство, при помощи которого живые существа устанавливают значимость тех или иных условий для удовлетворения актуальных для них потребностей. Эмоции играют в деятельности людей мобилизационную, интегративно-защитную, коммуникативную роль. Основные эмоциональные состояния, которые испытывает человек, делятся на собственно эмоции, чувства и аффекты. Формой эмоциональных переживаний является удовольствие, получаемое от удовлетворения потребностей, и неудовольствие, связанное с невозможностью это сделать при обострении соответствующей потребности.

Чувства — высший продукт культурно-эмоционального развития человека, которые обычно возникают в ответ на воздействие отдельных свойств окружающей среды. Они соотносятся с восприятием и оценкой сложных предметов, событий, людей, ситуаций. Проявление сильного и устойчивого положительного чувства к чему-либо или к кому-нибудь, называется страстью. Устойчивые чувства умеренной или слабой силы, действующие в течение длительного времени, именуются настроениями.

Аффекты — это выраженные эмоциональные состояния, сопровождаемые видимыми изменениями в поведении человека, который их испытывает. Аффект не предшествует поведению, а как бы сдвинут на его конец. Аффекты, как правило, препятствуют нормальной организации поведения, его разумности. Одним из наиболее распространенных в наши дни видов аффектов является стресс. Он представляет собой состояние чрезмерно сильного и длительного психологического напряжения, которое возникает у человека, когда его нервная система получает эмоциональную перегрузку. Стресс дезорганизует деятельность человека, нарушает нормальный ход его поведения.

Эмоция — это реакция всей личности (включая организм) на те ситуации, к которым она не может адаптироваться, и она имеет преимущественно функциональное значение. Так, эмоция вызывает нарушение памяти, навыков и вообще замену трудных действий более легкими. Эмоция соответствует такому снижению уровня адаптации, которое наступает, когда мотивация является слишком сильной по сравнению с реальными возможностями субъекта. Эмоция — это страх, гнев, горе, иногда радость, особенно чрезмерная радость. Существует оптимум мотивации, за пределами которого возникает эмоциональное поведение. С усилением мотивации повышается качество исполнения, но до определенного предела: если она слишком велика, исполнение ухудшается. Эмоция возникает часто потому, что субъект не может или не умеет дать адекватный ответ на стимуляцию. Конфликты являются главной причиной эмоций тогда, когда субъект не может легко найти решение. Эмоции способны мобилизовать человека, компенсировать недостаточность информации, недостаточность возможностей человека по решению проблемы.

Творчество как процесс создания чего-то нового, часто предполагает, что человек может испытывать недостаточность информации, знаний, умений для достижения цели и решения той или иной проблемы, поэтому ему необходимо сделать рывок в неизведанное, создать новые знания, умения, новые объекты и произведения. Эмоции, вдохновение, воображение помогают сделать этот "рывок в творчество". Творчество имеет место там, где воображение свободно от оков логики за счет эмоций. Выделяют 4 стадии творческого процесса: подготовка; созревание, вдохновение, проверка найденного решения. Научное творчество и особенно творчество в искусстве опирается на воображение, которое, в свою очередь, неразрывно связано с эмоциями и чувствами человека. Воображение является психическим процессом, заключающимся в создании новых образцов, представлений, полученных в предшествующем опыте. Видом творческого воображения, связанного с осознанием желаемого будущего, является мечта. Творческое мышление не тождественно интеллекту и имеет следующие отличительные черты:

1) оно оригинально, т. е. оно порождает неожиданные, небанальные, непривычные решения;

2) оно подвижно, т. е. для творческого мышления не составляет труда перейти от одного аспекта проблемы к другому, не ограничиваясь одной единственной точкой зрения;

3) оно пластично, т. е. творческие люди предлагают множество решений в тех случаях, когда обычный человек может найти лишь одно или два.

17.3. Здоровье и работоспособность

*Достойно ль смиряться под
ударами судьбы
Иль надо оказать сопротивление
И в смертной схватке с целым
морем бед
Покончить с ними?*

В. Шекспир

Здоровье человека во многом связано с эволюционно-экологическими основами его психофизической деятельности. Ритмы жизни, урбанизация, миграция, современные биосферно-ноосферные экологические изменения в целом предъявляют к людям новые требования.

Французский биолог и медик К. Бернар выдвинул идею единства здоровья и болезни и, по существу, обосновал учение о гомеостазе. Учение о гомеостазе основано на убеждении единства здоровья и болезни. Здоровье и болезнь — это два качественно различных феномена, которые могут сосуществовать в индивидууме. Сам организм, его центральная нервная система может быть организатором патологических процессов. Самоорганизация патологического процесса есть организация адаптивной программы в экстремальных, аварийных условиях среды, а патология есть организованный вариант выживания на основе видовой программы приспособления вида. В экстремальных условиях (в случае перегрузки, травмы, инфекции, интоксикации и др.) видовой аварийная программа реализуется в том,

что существенно сокращается внешняя работа и все резервы направляются на развитие новых внутренних функциональных морфологических механизмов сохранения жизнеспособности, выживания, выздоровления. Такая перестройка организма относительно обычной здоровой жизнеспособности оценивается как нечто внешнее, как **болезнь**. Значит, реакция организма на вредодействующие на него влияния внешней среды и составляет сущность больной жизни.

Необходимо четко разграничивать здоровье отдельного человека и здоровье популяции. **Здоровье** индивида есть динамический процесс сохранения и развития его социально-природных, биологических, физиологических и психических функций, социально-трудовой, социокультурной и творческой активности при максимальной продолжительности жизненного цикла. Здоровье популяции представляет собой процесс долговременного социально-природного, социально-исторического и социокультурного развития жизнеспособности и трудоспособности человеческого коллектива в ряду поколений. Здоровье популяции и индивида является необходимой предпосылкой интеллектуального здоровья человека, полноценной реализации его творческих возможностей.

Можно выделить три важнейшие функции популяционного здоровья:

- 1) конкретный живой труд в ходе производственной деятельности, которая совершается работающими индивидами внутри данной популяции;
- 2) социально-биологическое воспроизводство последующих поколений;
- 3) воспитание и обучение последующих поколений.

Кратко понятие "здоровье" можно сформулировать как состояние полного физического, умственного и социального благосостояния. Запас жизненной энергии у людей разный. Когда организм переживает состояние стресса, все его жизненно важные системы подвергаются перенапряжению, будь то сердце, почки, желудок или другие органы. Они выходят из строя в зависимости от того, какой из них наиболее уязвим у каждого

конкретного человека. Неверным является предположение о том, что после того, как они подверглись действию чрезвычайных раздражителей, отдых может им вернуть прежнее состояние и силы. Попытка избежать все формы стресса также не выход из положения. Исследования показали, что сокращение активности также ведет к сокращению жизни.

Когда человек не справляется с критическими стрессовыми состояниями, его мозг или организм обязательно выходят из строя. Заболевание ударит по самым уязвимым местам нашего организма, по тем органам, которые оказались повышено чувствительными в результате перенесенных детских заболеваний, наследственной предрасположенности или состояния нервной системы. Чтобы противостоять болезням и сохранять состояние здоровья организма, необходимо стараться избегать состояний, ведущих к эмоциональному перенапряжению, например избегать шума. Подобно тому, как мрачные мысли могут вывести организм из строя, так светлые и добрые помогут сохранить наилучшее здоровье. Свежий воздух, солнечный свет, умеренность, отдых, физические упражнения, вода и правильное питание — необходимые факторы здоровья и долголетия. Деятельность — закон всего нашего существования, бездеятельность — причина болезней. Чтобы избежать болезни, необходимо держать себя в хорошей физической форме. Среди физически пассивных людей инфаркт миокарда встречается в два раза чаще, чем среди людей физически активных.

Мало кто реально представляет себе, какую роль играет вода в нашей жизни. На 50-65% человеческий организм состоит из воды. В среднем человек должен выпивать минимум 6 стаканов воды ежедневно. Распланируйте питье воды таким образом: два стакана сразу после подъема утром, два — в середине дня, между завтраком и обедом, и два стакана во второй половине дня.

Для нормального функционирования наш организм нуждается в правильном питании. Чрезмерное употребление соли может привести к серьезным проблемам, в частности к повышению кровяного давления. Повышенное потребление сахара пагубно влияет на состояние зубов, увеличивает уровень холестерина в

крови, что приводит к заболеваниям сердца, к нарушению работы клеток мозга и снижает устойчивость к инфекционным заболеваниям. Доказано не только то, что вегетарианская диета стоит наравне с мясной, но и то, что во многих отношениях она значительно лучше. Здоровье — это количество резервов в организме, это максимальная производительность органов при сохранении качественных пределов их функций. Секрет долголетия кроется в следующих условиях жизни: закаленное тело, здоровые нервы и хороший характер, правильное питание, климат, ежедневный труд. С точки зрения современной науки имеются восемь важнейших условий правильного образа жизни:

1) труд является важнейшим условием физиологического благополучия;

2) нормальный сон является средством восстановления сил мозга;

3) хорошее настроение и положительные эмоции обеспечивают доброжелательное отношение к другим людям, оптимизм;

4) весьма существенным условием является рациональное питание как по качеству и количеству, так и по режиму потребления;

5) важное условие — избежание потребления алкоголя и никотина;

6) соблюдение режима, т. е. выполнение определенной деятельности организма в определенное время, что приводит к образованию условных рефлексов на время;

7) закаливание организма понимается как процесс приспособления организма к неблагоприятным внешним воздействиям;

8) физические упражнения, достаточный объем двигательной активности являются важнейшим элементом правильного образа жизни.

Работоспособность определяет возможности организма при выполнении работы к поддержанию структуры и энергозапасов на заданном уровне. В соответствии с двумя основными типами работ — физической и умственной — различают физическую и умственную работоспособность. Работоспособность

зависит от текущего уровня здоровья, самочувствия человека, от типологических свойств нервной системы, индивидуальных особенностей функционирования психических процессов (памяти, мышления, внимания, восприятия), от оценки человеком значимости и целесообразности мобилизации определенных ресурсов для выполнения определенной деятельности. В процессе выполнения работы человек проходит через различные фазы работоспособности. Фаза мобилизации характеризуется предстартовым состоянием. При фазе вработываемости могут быть сбои, ошибки в работе, постепенно происходит приспособление организма к наиболее экономному, оптимальному режиму выполнения данной конкретной работы. Фаза оптимальной работоспособности (или фаза компенсации) характеризуется оптимальным, экономным режимом работы организма и хорошими, стабильными результатами, максимальной производительностью и эффективностью труда. Затем, во время фазы неустойчивости компенсации, происходит своеобразная перестройка организма: необходимый уровень работы поддерживается за счет ослабления менее важных функций, дополнительных физиологических процессов, менее выгодных энергетически и функционально. При выходе за пределы работоспособности, после фазы неустойчивой компенсации наступает фаза декомпенсации, сопровождаемая прогрессирующим снижением производительности труда, появлением ошибок, выраженными вегетативными нарушениями: учащением дыхания, пульса, нарушением точности координации.

Первый этап — вработывание — приходится, как правило, на первый час от начала работы. Второй этап — устойчивой работоспособности — длится последующие 2-3 ч, после чего работоспособность вновь снижается. В течение недели также отмечаются те же три этапа. В понедельник человек проходит стадию вработывания, во вторник, среду и четверг имеет устойчивую работоспособность, а в пятницу и субботу у него развивается утомление. Утомление не разрушает организм, а поддерживает его. При этом происходят восстановительные процессы, "текущий ремонт" органов и тканей.

Начиная с фазы неустойчивой компенсации возникает специфическое состояние утомления. Различают физиологическое и психическое утомление. Первое из них выражает воздействие на нервную систему продуктов разложения, освобождающихся в результате двигательной-мускульной деятельности, а второе — состояние перегруженности самой центральной нервной системы. Психическое утомление, т. е. ощущение усталости, как правило, предшествует утомлению физиологическому. После прекращения работы наступает фаза восстановления физиологических и психологических ресурсов организма. В случае неполного восстановительного периода сохраняются остаточные явления утомления, которые могут накапливаться, приводить к хроническому переутомлению различной степени выраженности. В состоянии переутомления длительность фазы оптимальной работоспособности резко сокращается, снижается умственная работоспособность.

17.4. Вопросы биомедицинской этики

*Чтоб мудро жизнь прожить, знать
надобно немало,
Два важных правила запомни для начала:
Ты лучше голодай, чем что попало есть
И лучше будь один,
чем вместе с кем попало.*

О. Хайям

Биоэтику, или сложные поведенческие программы, присущие животному миру, следует рассматривать как естественное обоснование человеческой морали. Много признаков, присущих человеку, обусловлено генетически. И только часть человеческих черт обусловлена воспитанием, образованием и другими факторами внешней среды обитания. Поэтому суть эволюции составляет процесс передачи генов от поколения к поколению. Все человеческие действия — это его поведение.

С помощью биоэтики можно ответить на вопрос о происхождении таких важнейших проявлений человеческого разума,

как мораль и этика. Этологи — специалисты по поведению животных — открыли у них большой набор интенсивных запретов, необходимых и полезных в общении с сородичами. Все эти врожденные запреты возникают под жестким давлением отбора ради выполнения задачи сохранения вида.

К важнейшим из таких запретов относятся следующие:

1. "Не убей своего" — первый основополагающий запрет очень многих видов.

2. Нельзя нападать неожиданно и сзади, без предупреждения и без проверки.

3. Запрещено применять смертельное оружие или убийственный прием в драке со своими.

4. Непозволительно бить того, кто принял позу покорности.

5. Победа преимущественно бывает на стороне того, кто прав.

Таким образом, одним из важнейших выводов биоэтики является то, что в нашем поведении помимо действий, порожденных разумом, есть действия, мотивированные древними врожденными программами, доставшимися нам от животных предков. Биоэтика включает в себя этические нормы отношения к животным, экологическую этику, этику отношений человека с биогеоценозами и со всей биосферой. Она является формой защиты прав человека, в том числе его права на жизнь, на здоровье, на ответственное и свободное самоопределение своей жизни. Если **биоэтику** трактовать не узкомедицинскими и биологическими, а как широкую и философски глубокую дисциплину, то ее центральное ядро — отношение к жизни и смерти. Жизнь понимается как самоценность, как высшая ценность. Поэтому возникают проблемы, которые выходят за рамки отношений врача и пациента, а именно отношение к жизни, животным, к биогеоценозам, к биосфере и т. д. Биоэтика как отрасль науки возникла и стала интенсивно развиваться в США и Западной Европе. В последние несколько десятилетий (начиная с 70-х годов) в связи с успехом молекулярной биологии, генной инженерии, клеточной инженерии, внедрением в медицинскую практику трансплантации (пересадки) человеческих органов,

появлением новых технологий деторождения, внедрением широкого спектра приемов продления жизни в реаниматологии и другими радикальными изменениями в медицине невольно возникает необходимость оценки моральной (этической) стороны (аспекта) и даже последствий подобных научных экспериментов и исследований. Дело в том, что перечисленные выше научные эксперименты часто выходят за рамки чисто профессиональной подготовки врача, генного инженера, биолога и приобретают характер этических проблем, нуждаются в моральной оценке со стороны человеческого общества.

Рассмотрим естественно-научный и моральный аспекты каждого из этих достижений научно-технического прогресса. В связи с достигнутыми успехами генной инженерии в последнее время учеными предпринимаются серьезные попытки применения клонирования при помощи плазмид какого угодно участка ДНК многих животных, в том числе и человека. Ученым удалось перетасовать гены, комбинация которых в естественных условиях была невозможна из-за существующих барьеров (запретов биологического характера) на межвидовое скрещивание. По существу в области молекулярной биологии сняли природный запрет, позволили себе нарушить результаты эволюционного развития животного мира. Ведь известно, что ветви на дереве жизни в ходе эволюционного развития живой материи разошлись так сильно и далеко, что сама природа наложила вето на скрещивание разных видов ветвей. Мы знаем, что в природных условиях невозможно скрещивание, например, между собакой и кошкой как представителями разных видов. Подобные гибриды, если даже иногда образуются в самой природе, оказываются хотя и жизнеспособными, но бесплодными (например, мул — помесь осла и лошади). А ученые, создавая в пробирке какие угодно комбинации генов, пошли против природы, поставившей запрет на это.

После удачных опытов, подтвердивших, что рекомбинантные молекулы ДНК оказываются вполне биологически активными в среде клетки-хозяйки, в умах самих ученых возникли серьезные сомнения. Ученые задумываются: а что, если гиб-

ридные молекулы ДНК окажутся с чудовищными качествами, начнут размножаться с огромной скоростью и последствия таких экспериментов будут непредсказуемыми и губительными для человечества? Перед генными инженерами встала проблема моральной ответственности перед человеческим обществом за подобные эксперименты. Тревогу забила и общественность, которую пугают возможные отрицательные последствия подобной работы ученых. После каждого очередного сообщения ученых о результатах своих исследований в области генной инженерии (как, например, это произошло с клонированием овец в Англии) в обществе возникают бурные страсти. На какое-то время ученые под нажимом общественного мнения прекращают свою работу, однако тяга научного творчества оказывается сильнее страха и они снова берутся за эксперименты. Подобные ситуации возникали в науке не один раз: вспомним, какие чувства, например, испытывали американские ученые физики-ядерщики перед первым испытанием атомной бомбы. Хотя в случае с генной инженерией степень риска не так велика, как с атомной бомбой, тем не менее опасения в обществе время от времени возникают.

Успехи клеточной инженерии позволяют ученым в настоящее время сохранить на длительный срок в соответствующей питательной среде соматические и половые (даже оплодотворенные) клетки умерших животных, в том числе и человека. Если перенести такую оплодотворенную в пробирке яйцеклетку или же соответствующий ей плод в матку матери-суррогата (этот прием получил название клонирования), то можно осуществить полноценное вынашивание плода без особых физиологических проблем. Но в подобных случаях возникают моральные проблемы: как должен чувствовать с этической точки зрения человек, появившийся на свет не совсем обычным способом, как отнесутся к нему его же сверстники, какие у них будут взаимоотношения, каковы будут их последствия. Нелегко отвечать на все эти вопросы. В аналогичных случаях вопросов возникает гораздо больше, чем имеется на них ответов. Многое здесь, по-видимому, будет зависеть от уровня развития данного общества, от господству-

ющей в обществе морали и принятых норм поведения людей, их научных или же религиозных взглядов.

При распространении новых технологий деторождения, в частности при искусственном осеменении или же "материнстве по найму", естественно, могут возникнуть споры между биологической и юридической матерями ребенка. Кто в этой ситуации может решить вопрос, кому же больше принадлежит такой ребенок; где же тот критерий, основываясь на котором может быть вынесено окончательное решение; кто наделен правом рассудить их: судья, врач или же общественное мнение? Решение этих вопросов больше лежит в области этики, чем в медицинской сфере.

При развитии и размножении соматических клеток в специально подобранных питательных средах появляется возможность получения целого организма из нескольких клеток, так как в них сохраняется набор всех генов взрослого организма. А проблема в том, будет ли полученный таким образом организм полным подобием исходного, или это будет нечто другое. Клеточные культуры применяются для производства лекарственных веществ растений, а каковы будут последствия применения их в животном мире — трудно предусмотреть. Тут, по существу, речь может идти о возрождении, например, умершего человека из его оставшихся соматических (не половых) клеток. Если продолжить эту мысль, то можно прийти к выводу о том, что недалеко то время, когда методом культуры клеток (или тканей) или же клонированием можно искусственно "выращивать" в целях ускоренного развития человеческого общества таких гениальных людей, как А. Эйнштейн, В. А. Моцарт, В. И. Ленин и др. Трудно предугадать, какое общественное мнение возникнет на сей счет, как к этому отнесутся верующие люди и религия, не будут ли считать это греховным делом.

А пересадка человеческих органов, взятых у одного человека, другому человеку — пациенту, нуждающемуся в этой операции, — это благо или же зло, а может быть, даже убийство? Мы знаем, что врачи считаются представителями самой гуманной на Земле профессии. Они по роду своей деятельности наделены

правом, даже можно сказать, обязанностью вмешиваться в святую святых — человеческую жизнь. Пересадка человеческого органа производится врачом из гуманных соображений, во имя блага пациента. Но трансплантируемый орган (если он отдельно не выращивается методом клеточной культуры) извлекается из организма другого человека. Вот тут как раз возникает много вопросов, сомнений и этических проблем.

Если для пересадки органа организуется "охота" на людей с применением криминальных методов или же используется профессиональная не порядочность врача, а может быть, и жажда наживы, то, несомненно, это зло и может быть квалифицировано как убийство. Не говоря уже о глубокой аморальности этого явления, его следует квалифицировать как тягчайшее преступление, тяжесть вины которого должен определить суд. В данном случае благо для пациента оборачивается злом для другого человека, ставшего жертвой пациента.

Если даже изъятие органа у, казалось бы, безнадежного больного человека на первый взгляд не покажется столь преступным, то и в этом случае этический аспект проблемы остается открытым. Дело в том, что в настоящее время, как это было выше продемонстрировано, границу между жизнью и смертью проводят уже на молекулярном уровне. Поэтому старые подходы, когда конец человеческой жизни определяли по прекращению дыхания и сердцебиения, давно потеряли свою значимость. Сейчас благодаря успехам реаниматологии на длительное время возможно продление существования человека (даже при поражении некоторых жизненно важных органов) путем применения аппаратов искусственного дыхания, искусственной почки, кардиостимуляторов и т. д. Прежде чем извлечь из человеческого организма тот или иной орган для пересадки другому пациенту, необходимо установить факт смерти первого. Сейчас "граница" между жизнью и смертью определяется не деятельностью сердца и легких, а жизнеспособностью мозга. Пока мозг жив, следует считать, что человек жив даже при остановившемся сердце и прекратившемся дыхании, и наоборот, человек мертв, если мозг необратимо погиб, даже если его сердце продолжает

биться, а легкие "дышат". Даже смерть самого мозга происходит в несколько стадий: сначала погибает кора мозга, а затем его стволовая часть. За мозговой смертью следует уже смерть внутренних органов, и человек перестает существовать как единый функционирующий организм. Современная медицина в этом случае вынуждена фиксировать конец человеческой жизни, а молекулярная биология оставляет и в этой ситуации шанс и надежду на сохранение некоторых клеток умершего в качестве возможности продолжения, а точнее, возрождения его жизни методами генной и клеточной инженерии. Поэтому определение границы между жизнью и смертью в современных условиях становится очень трудной задачей, поскольку эта граница проходит уже на клеточном уровне.

К кругу биомедицинской этики могут быть причислены и такие злободневные вопросы, как аборт, проведение рискованных опытов над людьми, испытание на больных новых препаратов, подвергающих их жизнь опасности, и ряд других.

В заключение следует отметить, что биомедицинская этика — это сравнительная молодая область науки, призванная связывать между собой естественно-научную и гуманитарные культурные традиции. Термин "биоэтика" был введен в 1971 г. американским ученым В. Р. Поттером, и круг рассматриваемых этой молодой наукой проблем в будущем, возможно, еще расширится.

ВЫВОДЫ

1. Физиология человека изучает жизнедеятельность здорового человека, функции составных частей его организма: клеток, тканей, органов, систем. Она основана на изучении деятельности кровеносной, лимфатической, дыхательной, пищеварительной, выделительной, нервной систем, обмена веществ и энергии, желез внутренней секреции и др.

2. Здоровье — это состояние полного физического, умственного и социального благосостояния человека. Оно во многом связано с эволюционно-экологическими основами его психофизической деятельности. Здоровье и болезнь — это два качественно различных феномена, которые могут сосуществовать

в индивидууме. Свежий воздух, солнечный свет, умеренность, отдых, физические упражнения, вода и правильное питание — необходимые факторы здоровья и долголетия.

3. Работоспособность определяет возможности организма при выполнении работы и поддержании структуры и энергозапасов на заданном уровне. С точки зрения работоспособности здоровье — это количество резервов в организме, максимальная производительность органов при сохранении качественных пределов их функций.

4. Эмоции — особый класс субъективных психологических состояний, отражающих в форме непосредственных переживаний результаты практической деятельности, направленной на удовлетворение актуальных потребностей. Они возникают лишь тогда, когда осуществление инстинктивных действий, привычных и произвольных форм поведения наталкивается на препятствие, к которому он не может адаптироваться.

5. Творчество — это процесс создания человеком нового, при котором он, хоть и испытывает недостаточность информации, знаний, умений для достижения цели и решения той или иной проблемы, делает рывок в неизведанное, создает новые знания, умения, новые объекты и произведения.

Вопросы для контроля знаний

1. *В чем сущность концепции о системе крови и кровообращения?*
2. *Каковы функции системы органов пищеварения?*
3. *Что такое метаболизм, анаболизм и катаболизм?*
4. *Какова основная функция почек?*
5. *Какими свойствами обладают гормоны? Какова их роль в организме?*
6. *Что такое нейрон?*
7. *Что изучает высшая нервная деятельность?*
8. *Покажите различные подходы к пониманию термина "биоэтика".*
9. *В чем состоит основное противоречие в трактовке единства феноменов здоровья и болезни?*
10. *Можно ли говорить о количестве здоровья и чем оно измеряется?*
11. *Назовите различные фазы работоспособности.*

Глава 18. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ И ЭКОЛОГИИ

*Во всем подслушать
жизнь стремясь,
Спешат явления обездушить,
Забыв, что если в них нарушить
Одушевляющую связь,
То больше нечего и слушать.*

Гёте

18.1. Биосфера

Под **биосферой** понимают тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под прямым воздействием живых организмов. Биосфера находится на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы, располагаясь в диапазоне от 11 км в глубь Земли до 33 км над Землей. Живые организмы, включающие в себя все известные химические элементы, в процессе жизнедеятельности осуществляют превращение энергии. Все живое разделено на пять царств: бактерии, водоросли, грибы, растения и животные.

Современная наука считает, что примерно 1 млрд лет назад произошло разделение живых существ на царства растений и животных. Различия между ними можно разделить на три группы: 1) по структуре клеток и их способности к росту; 2) по способу питания; 3) по способности к движению. У животных клеток есть центриоли, но нет хлорофилла и клеточной стенки, мешающей изменению формы. Большинство растений необходимые для жизни вещества получают в результате поглощения минеральных соединений. Животные питаются готовыми органическими соединениями, которые создают растения в процессе фотосинтеза. Классификация растений и животных построена

в соответствии с их отличительными признаками. Основной структурной единицей был признан вид, а более высокие уровни составили последовательно род, отряд, класс.

На Земле существует 500 тыс. видов растений и 1,5 млн видов животных, в том числе позвоночных — 70 тыс., птиц 16 тыс., млекопитающих — 12 540 видов. Подобная систематизация различных форм жизни создала предпосылки для изучения живого вещества как целого, что впервые осуществил выдающийся русский ученый Владимир Иванович Вернадский в своем учении о биосфере. Основные выводы учения Вернадского о биосфере сводятся к следующему:

1. Принцип целостности утверждает, что биосфера, жизнь существуют как единое целое. Жизнь является необходимой и закономерной частью стройного космического механизма.

2. Принцип гармонии биосферы заключается в ее организованности, стройности, неразрывной связи в ней живых и неживых компонентов.

3. Принцип значительности роли живого в эволюции Земли утверждает, что на земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей и более могущественной по своим конечным последствиям, чем организмы, взятые в целом. Облик Земли как небесного тела фактически сформирован жизнью.

4. Основная роль биосферы состоит в трансформации солнечной энергии в действенную энергию Земли. Космическая энергия вызывает развитие жизни, которое достигается размножением.

5. Правило инерции заключается в распространении жизни по земной поверхности из-за проявления ее геохимической энергии. Мелкие организмы размножаются гораздо быстрее, чем крупные.

6. Закон бережливости в использовании живым веществом простых химических тел утверждает, что раз вошедший в организм элемент проходит длинный ряд состояний и при этом организм вводит в себя только необходимое количество элементов.

7. Пределы жизни определяются физико-химическими свойствами соединений, строящих организм, их неразрушимос-

тью в определенных условиях среды. Максимальное поле жизни определяется крайними пределами выживания организмов. Верхний предел жизни обуславливается лучистой энергией, присутствие которой исключает жизнь и от которой предохраняет озоновый щит. Нижний предел связан с достижением высокой температуры. Например, интервал температуры жизни в 430° (от -250°C до $+180^{\circ}\text{C}$) является предельным тепловым полем.

8. Жизнь постепенно, медленно приспосабливаясь, захватила биосферу, и захват этот не закончился. Поле устойчивости жизни есть результат приспособленности в ходе времени.

Биосфера, по В. И. Вернадскому, — это организованная, определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью. Пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни. Биосфера — не просто одна из существующих оболочек Земли, подобно литосфере, гидросфере или атмосфере. Основное отличие биосферы состоит в том, что она — организованная оболочка. Быть живым — значит быть организованным, отмечал В. И. Вернадский, и в этом состоит суть понятия биосферы как организованной оболочки Земли.

По В. И. Вернадскому, вещество биосферы разнородно по своему физико-химическому составу, а именно:

- 1) живое вещество — совокупность живых организмов;
- 2) биогенное вещество — непрерывный биогенный поток атомов из живого вещества в косвенное вещество биосферы и обратно;
- 3) косное вещество (атмосфера, газы, горные породы и пр.);
- 4) биокосное вещество, например почвы, илы, поверхностные воды, сама биосфера, т. е. сложные закономерные косно-живые структуры;
- 5) радиоактивное вещество;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещество космического происхождения.

Хотя границы биосферы довольно узки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным об-

разом на поверхности Земли, в почве и в приповерхностном слое океана. Общую массу живых организмов оценивают в $2,43 \cdot 10^{12}$ т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена зелеными растениями и на 0,8% — животными и микроорганизмами. Напротив, в океане на долю растений приходится 6,3%, а на долю животных и микроорганизмов — 93,7% всей биомассы. Жизнь сосредоточена главным образом на суше. Суммарная биомасса океана составляет всего $0,03 \cdot 10^{12}$, или 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле. В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов 21% приходится на растения, но их вклад в общую биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов — беспозвоночные и только 4% — позвоночные, из которых десятая часть — млекопитающие. Масса живого вещества составляет всего 0,01-0,02% от косного вещества биосферы, однако она играет ведущую роль в геохимических процессах. Вещества и энергию, необходимую для обмена веществ, организмы черпают из окружающей среды. Ограниченные количества живой материи воссоздаются, преобразуются и разлагаются. Ежегодно, благодаря жизнедеятельности растений и животных, воспроизводится около 10% биомассы. Кроме растений и животных В. И. Вернадский включает в понятие "живое вещество" и человечество, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных живых существ, во-первых, своей интенсивностью, увеличивающейся с ходом геологического времени; во-вторых, тем воздействием, какое деятельность людей оказывает на остальные живые существа.

Жизнь на Земле ныне полностью зависит от фотосинтеза. Фиксируя энергию солнечного света в продуктах фотосинтеза, растения выполняют космическую роль энергетического очага на Земле. Под фотосинтезом понимается превращение зелеными растениями и фотосинтезирующими микроорганизмами при участии энергии света и поглощающих свет пигментов (хлорофилл и др.) простейших соединений (воды, углекислого газа и минеральных элементов) в сложные органические вещества, необходимые для жизнедеятельности всех организмов. Еже-

годно растения образуют до 100 млрд т органических веществ и фиксируют $9 \cdot 10^{20}$ Дж энергии солнечной радиации. При этом растения усваивают из атмосферы до 170 млрд т углекислого газа и разлагают до 130 млрд т воды, выделяя до 115 млрд т свободного кислорода.

Таким образом, все биотические компоненты экосистемы разделены на три основные группы: **продуценты** (зеленые растения и организмы, могущие использовать химическую энергию, — хемосинтетики), **консументы**, или потребители (могут быть нескольких трофических уровней), и **редуценты**, или разрушители (организмы, преобразующие, минерализующие органику и тем самым замыкающие биологический круговорот). Все живые организмы, так или иначе используя друг друга, образуют гигантский биологический круговорот биосферы. Этот круговорот не полностью замкнут: кроме энергетического входа (солнечная энергия) он имеет и выход — часть отмирающего органического вещества после разложения микроорганизмами-минерализаторами может попадать в водные растворы и откладываться в виде осадочных пород, а другая часть образует отложения таких биогенных пород, как каменный уголь, торф, сапропель и т. п.

В этом большом биогеохимическом круговороте вещества и энергии выделяется целый ряд более частных круговоротов веществ — воды, углерода, кислорода, азота, серы, фосфора и др., в ходе которых происходит обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой. Существование этих биогеохимических круговоротов определяет облик современных экосистем, устойчивость и саморегуляцию биосферы в целом. Поэтому как бы сложны и многообразны ни были проявления жизни на Земле, все формы жизни связаны между собой через круговорот вещества и энергии.

В этой связи можно выделить три этапа эволюции биосферы. Первый этап — возникновение биотического круговорота, означавшего формирование биосферы. Второй этап — усложнение жизни на планете, обусловленное появлением многоклеточных организмов. Третий этап — формирование человеческого

общества, оказывающего своей хозяйственно-экономической деятельностью все большее влияние на эволюцию биосферы (ноосфера). Попытки выделить основные этапы эволюции биосферы заслуживают внимания уже тем, что ставят эту проблему в качестве одной из важных задач современной эволюционной теории.

18.2. Экология

*У пусть у гробового входа
Младая будет жизнь играть, И
равнодушная природа Красою
вечною сиять.*

А. Пушкин

Термин "экология" (от греческого *oikos* — жилище) предложен в 1866 г. немецким биологом Э. Геккелем для обозначения специальной биологической науки об организмах "у себя дома", т. е. о взаимоотношениях организмов, в первую очередь диких, и среды их обитания. Примерно с 60-х гг. XX в. под экологией (наукой об окружающей среде) стали понимать науку о различных аспектах взаимодействия организмов между собой и с окружающей средой. Экология изучает организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, сообществ, экосистем.

Экология изучает взаимодействие организмов с окружающей средой, создавая целостную картину на основе всей доступной информации. При этом термодинамический подход играет одну из ведущих ролей. Экология сформировалась в принципиально новую интегрированную дисциплину, связывающую физические и биологические явления и образующую мост между естественными и общественными науками.

Если учение о биосфере подняло биологию с уровня отдельных видов к целостности высшего порядка, то экология изучает различные уровни целостности, промежуточные между организменным и глобальным. Экология показала, что живой мир — не совокупность живых существ, а единая система, связанная

множеством цепочек обитания и иных взаимоотношений. Если даже небольшая часть его погибнет, погибнет и все остальное.

К важным выводам экологии, отмечавшимся еще Вернадским, можно отнести следующие:

1) каждый организм может существовать только при условии постоянной тесной связи со средой, т. е. с другими организмами и неживой природой;

2) жизнь со всеми ее проявлениями произвела глубокие изменения на нашей планете. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространялись по планете, стимулируя перераспределение энергии и веществ;

3) размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается равновесие. Численность их колеблется вблизи равновесного уровня.

Принцип равновесия играет в живой природе огромную роль. Равновесие существует между видами, и смещение его в одну сторону, скажем уничтожение хищников, может привести к исчезновению жертв, которым не будет хватать пищи. Естественное равновесие существует также между организмом и окружающей его неживой средой. Великое множество равновесий поддерживают общее равновесие в природе.

В экосистемах необходим период эволюционного приспособления к условиям среды, который называется адаптацией.

В экологии наибольшее значение для изучения структуры ее систем приобретает анализ тех трофических, или пищевых связей, которые соединяют различные популяции друг с другом. В экосистеме можно выделить два уровня:

- на верхнем, **автотрофном** уровне, который называют также зеленым поясом, мы встречаемся с растениями, содержащими хлорофилл и перерабатывающими солнечную энергию и простые неорганические вещества в сложные органические соединения. Автотрофными называют организмы, которые берут все нужные им для жизни химические элементы в биосфере из окружающей их материи и не требуют для построения своего тела готовых соединений другого организма.

- на нижнем, **гетеротрофном** уровне происходит преобразование и разложение этих органических соединений в простые.

Таким образом, в механизме трофических связей можно выделить следующие элементы:

- **продуценты** автотрофных организмов, главным образом зеленых растений, которые могут производить пищу из простых неорганических веществ;

- **фагототрофы**, к которым принадлежат гетеротрофные животные, питающиеся другими живыми организмами, растительными и животными;

- **сапротрофы**, которые получают энергию путем разложения мертвых тканей или растворенного органического вещества.

Одна из характерных черт всех экосистем состоит в том, что в них происходит постоянное взаимодействие автотрофных и гетеротрофных подсистем организмов. Такое взаимодействие приводит к круговороту вещества в природе, несмотря на то что иногда организмы разделены в пространстве. Автотрофные процессы наиболее интенсивно протекают в зеленом ярусе системы, где растениям доступен солнечный свет, в то время как на нижнем ярусе усиленно протекают гетеротрофные процессы.

Экологическая проблема с точки зрения ее генезиса воспроизводит ступени развития противоречия между природой и обществом как развития любого противоречия: от единства и равновесия к дисгармонии и конфронтации. Исходя из характера взаимоотношений общества с природой и специфики формирующейся при этом социокультурной сферы, а также на основе анализа факторов ее функционирования и развития, выделяют три периода в генезисе экологической проблемы:

I период — биогенный (адаптационный, собирательский, присваивающий);

II период — техногенный (частично преобразовательный):
1-й этап — аграрный; 2-й этап — индустриальный;

III период — ноосферный.

В экологическом отношении мы живем в условиях перехода от **II** периода к **III**, некоторые авторы именуют нынеш-

нее состояние взаимоотношений природы и общества "второй научно-технической" или "экологической" революцией.

18.3. Современные проблемы экологии

*Мы хотим, чтобы из глубокого,
вдумчивого исследования природы
рождалась не только мысль, но и
дело.*

А. Е. Ферсман

Загрязнение природной среды различными отходами производства выше предельно допустимой концентрации приводит к росту заболеваемости, и это принято считать современным экологическим кризисом. Его разделяют на локальный и глобальный. Локальный экологический кризис выражается в местном повышении уровня загрязнений — химических, тепловых, шумовых, электромагнитных — за счет одного или нескольких близко расположенных источников. Глобальный экологический кризис является следствием всей совокупности хозяйственной деятельности нашей цивилизации и проявляется в изменении характеристик природной среды в масштабах планеты и, таким образом, опасен для всего населения Земли. Борьба с глобальным экологическим кризисом гораздо труднее, чем с локальным. В настоящее время глобальный экологический кризис включает четыре основных компонента: кислотные дожди, парниковый эффект, загрязнение планеты суперэкоотоксикатами и озоновые дыры.

Кислотные дожди — это атмосферные осадки, pH которых ниже, чем 5,5. Закисление осадков происходит вследствие попадания в атмосферу оксидов серы и азота. Источники SO_2 в основном связаны с процессами сгорания каменного угля, нефти и природного газа, содержащих в своем составе сераорганические соединения. Часть SO_2 в результате фотохимического окисления в атмосфере превращается в серный ангидрид, образующий с атмосферной влагой серную кислоту. Важным источником SO_2 является цветная металлургия: производство меди,

никеля, кобальта, цинка и других металлов включает стадию обжига сульфидов. Оксиды азота — предшественники азотной кислоты — попадают в атмосферу главным образом в составе дымовых газов котлов тепловых электростанций и выхлопов двигателей внутреннего сгорания. При высоких температурах, развивающихся в этих устройствах, азот воздуха частично окисляется, давая смесь моно- и диоксида азота.

Кислотные осадки (их pH иногда достигает 2,5) губительно действуют на биоту, технические сооружения, произведения искусства. Под действием кислотных дождей и снегов за 1955-1985 годы сильно понизился водородный показатель тысяч озер Европы и Северной Америки, а это в свою очередь привело к резкому обеднению их фауны и гибели многих видов организмов. Кислотные осадки вызывают деградацию лесов: в Северной Европе от них сильно пострадало примерно 50% деревьев. При понижении pH резко усиливается эрозия почвы и увеличивается подвижность токсических металлов.

Парниковый эффект обусловлен нагревом внутренних слоев атмосферы за счет поглощения "парниковыми газами" (прежде всего CO_2) основной инфракрасной части излучения поверхности Земли, нагреваемой Солнцем. Этот эффект может привести к существенному изменению климата, которое чревато непредсказуемыми последствиями, например к повышению уровня Мирового океана и затоплению низменных участков суши из-за таяния арктических и антарктических льдов. За последние 100 лет концентрация CO_2 в атмосфере выросла на 20%. Основными источниками увеличения углекислого газа являются топки тепловых электростанций, автомобильные двигатели, лесные пожары и др.

Загрязнение суперэкоотоксикатами поверхности Земли, к которым относятся хлордиоксины, полихлорированные бифенилы, полициклические ароматические углеводороды, некоторые тяжелые металлы (в первую очередь свинец, ртуть и кадмий); долгоживущие радионуклиды попадают в окружающую среду в результате аварий на химических производствах, неполного сгорания топлива в автомобильных двигателях, неэффективной

очистки сточных вод, катастроф на ядерных реакторах и даже сгорания полимерных изделий в кострах на садовых участках. Суперэкоотоксикаты ответственны за многочисленные болезни, аллергии, повышенную смертность, нарушения генетического аппарата человека и животных.

Озоновый слой, расположенный на высоте 25 ± 5 км, как известно, поглощает опасное для всех живых существ биологически активное ультрафиолетовое излучение Солнца (длина волны 240–260 нм). Наблюдения за концентрацией озона в этом слое, ведущиеся только в последние годы, фиксируют ее существенное локальное понижение (до 50% от исходной). Такие места, получившие название озоновых дыр, обнаружены над Антарктидой (1985) и Арктикой (1992). Для объяснения образования озоновых дыр необходимо глубокое понимание комплекса физических, физико-химических и химических процессов, протекающих в тропосфере и стратосфере Земли, необходимо также учитывать солнечно-земные связи, процессы дегазации Земли, потоки техногенных и эндогенных газов в атмосферу и многие другие факторы. В настоящее время их количественный учет невозможен, поэтому однозначного объяснения причин возникновения и затягивания озоновых дыр не существует. Тем не менее средства массовой информации и многочисленная учебно-методическая литература активно распространяют фреоновую теорию разрушения озонового слоя:

Суть ее заключается в следующем. Фреоны (хлорфторуглероды) широко используются в качестве хладагентов, вспенивателей пластмасс, газов в аэрозольных баллончиках, средств пожаротушения и т. п. Выполнив свою рабочую функцию, большая часть фреонов попадает в верхнюю часть атмосферы, где под действием света разрушается с образованием свободных атомов хлора. Далее атомы хлора интенсивно взаимодействуют с озоном и регенерируются. Таким способом один атом хлора может разрушить не менее 10 тыс. молекул озона. Следует, однако, отметить, что представления о роли фреонов в разрушении озонового экрана нашей планеты являются всего лишь гипотезой. С ее помощью трудно объяснить причины периодического убы-

вания концентрации озона над Антарктикой, тогда как не менее 90% фреонов попадают в атмосферу в Европе и США.

Известна еще одна гипотеза появления озоновых дыр, основанная на взаимодействии озона с потоками водорода и метана, поступающего в атмосферу через разломы в земной коре, тем более что географические координаты озоновых дыр очень близки к координатам зон разломов в земной коре. Если это так, то колебания концентрации озона следует отнести к природным факторам.

Итак, глобальный экологический кризис, обусловленный антропогенным вмешательством в природные процессы, представляет опасность для жизни на Земле. Возникает вопрос: может ли он быть преодолен? Большинство специалистов сегодня отвечают на этот вопрос положительно, отмечая, однако, что решение этой задачи потребует от человечества грандиозных усилий. Однако сложность проблемы заключается в том, что развитие цивилизации неминуемо влечет за собой загрязнение среды обитания и приводит к появлению сложных экологических проблем. Проблемы эти столь трудны и многоплановы, что некоторые ученые и мыслители всерьез ставят вопрос о свертывании промышленного производства и возвращения человека к патриархальному быту, характерному для середины или второй половины XIX столетия. Но не будем забывать, что численность населения Земли в те годы была в три раза меньше, а средняя продолжительность жизни составляла 30 лет. Захотят ли земляне вернуться в прошлое? Вряд ли.

Теперь попытаемся разобраться в причинах загрязнения окружающей среды. Таких основных причин четыре.

1. Экономические причины. Высокая стоимость очистных сооружений и других средств охраны природы, достигающая иногда трети капиталовложений, зачастую вынуждает хозяйственников экономить на очистных сооружениях при строительстве новых производств.

2. Научно-технические причины. Основная часть потока загрязнений обусловлена объективно существующими научно-техническими трудностями. Для их преодоления необ-

ходимо иметь в виду приоритетное значение развития науки, современной техники и технологии.

3. Низкий уровень знаний. В наше время люди, принимающие ответственные технические решения и не владеющие при этом основами естественных наук, становятся социально опасными для общества.

4. Низкий уровень культуры и нравственности. Каждый современный человек должен быть не только экологически грамотным, но и осознавать свою ответственность за действия, которые приносят природе явный вред.

Для преодоления глобального экологического кризиса необходимо, чтобы каждый житель нашей планеты осознал, что экологическая угроза исходит не от безымянного человечества вообще, а от каждого конкретного человека, т. е. от нас с вами. Главную роль в решении этой задачи играет экологическое просвещение всех слоев и всех возрастных категорий общества. Следующий шаг — создание эффективного природоохранного законодательства. Ключевым элементом в борьбе с экологическим кризисом является поиск грамотных и действенных научно-технических решений. Экологический кризис является наибольшей опасностью, стоящей сегодня перед человечеством. Другие глобальные кризисы: энергетический, сырьевой, демографический — в своей основе сводятся к проблемам охраны природы. У жителей Земли нет альтернативы: либо они справятся с загрязнением, либо загрязнение расправится с большей частью земель.

18.4. Ноосфера

*Одному только разуму, как
мудрому попечителю, должно
вверять всю жизнь.*

Пифагор

В 20-е годы XX в. в Париже на семинаре А. Бергсона русский ученый Владимир Иванович Вернадский заинтересовался идеей

П. Тейяра де Шардена, французского палеонтолога и философа, рассматривавшего феномен человечества с точки зрения глобальной эволюционной перспективы. Тейяр оперировал терминами отправного пункта эволюции, которая началась с появления элементарных частиц, привела к формированию молекул, клеток, многоклеточных организмов и, наконец, социальных групп. Он полагал, что следующей эволюционно-критической точкой станет появление коллективного человеческого сознания, которое станет контролировать направление будущей эволюции биосферы. Он называл эту новую эволюционную фазу **ноосферой**. Переход к ноосфере был движением от биологической к психологической и духовной эволюции. Для Тейяра ноосфера была последовательным шагом в направлении развертывания и усложнения универсума.

В. И. Вернадский принял такое понятие, помогающее объяснить следствия растущего вторжения человека в планетарные геохимические циклы. Для Вернадского процесс преобразования биосферы путем вмешательства человека был процессом ноо-генезиса. Интенсивное и сбалансированное сосуществование в рамках ноосферы обеспечивает управление биохимическими циклами. Он был убежден, что переход к ноосфере происходит под влиянием научных достижений, и ждал, когда человечество, наконец, осознает это. Требование перехода к ноосфере означает для человечества реконструкцию биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого.

Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни. В задачу человека эпохи ноосферы входит правильное, рациональное использование ресурсов Земли, не нарушая его экологического равновесия во всех направлениях. Земная ноосфера оказывается непосредственно связанной с Космосом.

Итак, что же такое ноосфера: утопия или реальная стратегия выживания? Труды Вернадского позволяют более обоснованно ответить на поставленный вопрос, поскольку в них указан ряд

конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы. Перечислим эти условия:

- 1) заселение человеком всей планеты;
- 2) резкое преобразование средств связи и обмена между странами;
- 3) усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли;
- 4) начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;
- 5) расширение границ биосферы и выход в космос;
- 6) открытие новых источников энергии;
- 7) равенство людей всех рас и религий;
- 8) увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;
- 9) свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических воззрений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;
- 10) продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить голода, нищеты и ослабить влияние болезней;
- 11) разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;
- 12) исключение войн из жизни общества.

Проследим, насколько выполняются эти условия в современном мире и остановимся более подробно на некоторых из них.

1. Заселение человеком всей планеты. Это условие выполнено. На Земле не осталось мест, где не ступала бы нога человека. Он обосновался даже в Антарктиде.

2. Резкое преобразование средств связи и обмена между странами. Это условие также можно считать выполненным. С помощью радио, телевидения и Интернета мы моментально узнаем

о событиях в любой точке земного шара. Средства коммуникации постоянно совершенствуются, ускоряются, появляются такие возможности, о которых недавно трудно было мечтать.

3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли. Это условие можно считать если не выполненным, то выполняющимся. Возникшая после Второй мировой войны Организация Объединенных Наций (ООН) оказалась гораздо более устойчивой и действенной, чем Лига Наций, существовавшая в Женеве с 1910 по 1946 г.

4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере. Это условие также можно считать выполненным, хотя именно преобладание геологической роли человека в ряде случаев привело к тяжелым экологическим последствиям. Объем горных пород, извлекаемых из глубин Земли всеми шахтами и карьерами мира, сейчас почти в два раза превышает средний объем лав и пеплов, выносимых ежегодно всеми вулканами Земли.

5. Расширение границ биосферы и выход в космос. В работах последнего десятилетия жизни Вернадский не считал границы биосферы постоянными. Он подчеркивал расширение их в прошлом как итог выхода живого вещества на сушу, появления высокоствольной растительности, летающих насекомых, а позднее летающих ящеров и птиц. В процессе перехода в ноосферу границы биосферы должны расширяться, а человек должен выйти в космос. Эти предсказания сбылись.

6. Открытие новых источников энергии. Условие выполнено, но, к сожалению, с трагическими последствиями. Атомная энергия давно освоена и в мирных, и в военных целях. Человечество (а точнее, политики) явно не готово ограничиться мирными целями, более того — атомная (ядерная) сила вошла в наш век прежде всего как военное средство и средство устрашения противостоящих ядерных держав.

7. Равенство людей всех рас и религий. Это условие если не достигнуто, то, во всяком случае, достигается. Решительным шагом для установления равенства людей различных рас и ве-

роисповеданий был распад в конце прошлого века колониальных империй.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики. Это условие соблюдается во всех странах с парламентской формой правления.

9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических воззрений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли. Трудно говорить о выполнении этого условия в стране, где еще совсем недавно наука находилась под колоссальным гнетом определенных философских и политических построений. Сейчас она от таких давлений свободна, однако из-за тяжелого экономического положения в российской науке многие ученые вынуждены зарабатывать себе на жизнь ненаучным трудом, другие уезжают за границу. В развитых и даже развивающихся странах, что мы видим на примере Индии, Ирана, Пакистана государственный и общественный строй создают режим максимального благоприятствования для свободной научной мысли.

10. Продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить голода, нищеты и ослабить влияние болезней. О выполнении этого условия трудно судить объективно, находясь в большой стране. Однако Вернадский предупреждал, что процесс перехода биосферы в ноосферу не может происходить постепенно и одновременно, что на этом пути временные отступления неизбежны.

11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения. Это условие не может считаться выполненным, однако первые шаги в направлении разумного преобразования природы во второй половине XX в., несомненно, начали осуществляться. В современный период происходит интеграция наук на базе экологических идей. Вся система научного знания дает фундамент для экологических задач. Об этом также говорил Вернадский,

стремясь создать единую науку о биосфере. Экологизация западного сознания происходила начиная с 70-х годов, создавая условия для возникновения экофильной цивилизации. Сейчас экстремистская форма движения зеленых оказалась там уже ненужной, поскольку заработали государственные механизмы регулирования экологических проблем. В мировом масштабе для разрешения экологической проблемы в условиях роста населения планеты требуется способность решения глобальных проблем, что в условиях суверенитета различных государств кажется сомнительным.

12. Исключение войн из жизни общества. Это условие Вернадский считал чрезвычайно важным для создания и существования ноосферы. Но оно не выполнено и пока неясно, может ли быть выполнено. Мировое сообщество стремится не допустить мировой войны, хотя локальные войны еще уносят многие жизни.

Таким образом, мы видим, что налицо все те конкретные признаки, все или почти все условия, которые указывал В. И. Вернадский, для того чтобы отличить ноосферу от существовавших ранее состояний биосферы. Процесс ее образования постепенный, и, вероятно, никогда нельзя будет точно указать год или даже десятилетие, с которого переход биосферы в ноосферу можно будет считать завершенным. Но, конечно, мнения по этому вопросу могут быть разные.

Сам Вернадский, замечая нежелательные, разрушительные последствия хозяйствования человека на Земле, считал их некоторыми издержками. Он верил в человеческий разум, гуманизм научной деятельности, торжество добра и красоты. Что-то он гениально предвидел, в чем-то, возможно, ошибался. Ноосферу следует принимать как символ веры, как идеал разумного человеческого вмешательства в биосферные процессы под влиянием научных достижений. Надо в нее верить, надеяться на ее пришествие, предпринимать соответствующие меры.

Тейяр и Вернадский дают две возможные интерпретации ноосферы. В первом случае ноосфера представляет собой тотальный образец мыслящих организмов и их активности. Во втором

случае это образец специфической жизненной среды, состоящий из систем организованной мысли и материальной культуры, среди которых живет человек. В предисловии к книге Тейяра де Шардена Дж. Хаксли называет первую ноосферой, вторую — ноосистемой. Для Тейяра ноосфера была планетарным слоем сознания и духовности, который возникает из биосферных масс, обладающих жизнью субстанции. Для Вернадского ноосфера была прежде всего средой, в которой человечество может самореализовываться. Первая концепция сводит воедино материалистическую и идеалистическую интерпретации развития универсума. Вернадский же видит ноосферу преимущественно материалистически: как исторически неизбежную стадию в эволюционном развитии биосферы.

Основоположники учения о ноосфере верили, что человеческий разум, превращаясь в планетарную геологическую силу, приведет к упорядочению природной и социальной действительности, к более совершенным формам бытия. Как результат сознательного, планомерного преобразования биосферы, ее перехода в качественно новое состояние возникнет ноосфера. Вернадский и Шарден связывали этот процесс с социалистической ориентацией, расширяя задачи преодоления стихийности природы до преодоления стихийности в жизни общества. В некоторых контекстах ноосфера рассматривалась как полное устранение зла, как всеобщее благо (особенно в космических вариантах, например, у К. Э. Циолковского).

Суть взгляда на ноосферу, который представляется реалистичным: представление о ноосфере с самого начала формирования содержала элементы выхода за пределы наличного знания, связанные со смещением аксиологического и онтологического подходов. Однако отношение к ноосфере ныне сугубо восторженное. По мысли Вернадского, ноосфера — это гармоническое соединение природы и общества, торжество разума и гуманизма. Это — мир без оружия, войн и экологических проблем, это — мечта, цель, стоящая перед людьми доброй воли, это вера в великую миссию науки и человечества, вооруженного наукой.

Современные тенденции развития, к сожалению, не свидетельствуют о приближении к ноосферному идеалу, они быстро ведут (в ряде случаев уже привели) к серьезным нарушениям (если не к полному уничтожению) природных экосистем. Наши нынешние отношения с окружающей средой весьма далеки от устойчивости.

В рамках экологии, поскольку сейчас наша цивилизация находится в процессе перехода от биосферы к ноосфере, когда разум становится определяющей силой общества, вполне естественно определить перспективы дальнейшего развития мира. Оптимистические прогнозы утверждают, что новые технологии будут безотходными, менее энергоемкими и более совершенными. Пессимистические прогнозы считают, что из-за технологического и энергетического загрязнения мир идет к гибели. В этой связи заслуживает внимания инициатива ученых и общественных деятелей, объединившихся в рамках Римского клуба, изучающих пределы роста и актуальные проблемы человечества. Они показали, что если потребление ресурсов и промышленный рост вместе с увеличением численности населения будут продолжаться прежними темпами, то будет достигнут предел роста, за которым последует катастрофа.

18.5. Демографическая проблема

*Есть время жить — и время умирать.
Всему свой срок. Всему приходит время.
Есть время сеять — время собирать.
Есть час любви — и ненависти час. И для
войны есть время — и для мира.*

Из Екклесиаста

Воздействие общества на окружающую среду прямо пропорционально численности человечества, уровню его жизни и ослабляется с повышением уровня экологического сознания населения. Все три фактора равнозначны. Дискуссии о том, сколько людей сможет или не сможет выжить на Земле, лишены смысла, если не принимать во внимание стиль жизни и уровень

человеческого сознания. Остановимся на одной компоненте — численности населения. Проблемы народонаселения изучаются демографией — наукой о закономерностях воспроизводства населения в общественно-исторической обусловленности этого процесса. **Демография** — наука о народонаселении, изучающая изменение численности населения, рождаемость и смертность, миграцию, половозрастную структуру, национальный состав, географическое распределение и их зависимость от исторических, социально-экономических и других факторов.

При рассмотрении естественно-научных аспектов проблемы народонаселения особенно важно представить себе широту демографических проблем. Демография занимается изучением особенностей взаимодействия биологического и социального в воспроизводстве народонаселения, культурной и этической детерминации демографических процессов, зависимости демографических характеристик от уровня экономического развития. Особое место занимает выявление влияния на демографические процессы развития здравоохранения, урбанизации и миграции.

Известно, что все биологические виды обладают высоким биотическим (от биоты — совокупность всех организмов биосистемы) потенциалом для стремительного увеличения численности при благоприятных условиях среды. В таком случае рост популяции имеет вид экспоненты, а само размножение характеризуется как популяционный взрыв. В естественных условиях такое наблюдается крайне редко, так как вероятность того, что все условия окажутся благоприятными, очень низка. Обычно один или несколько абиотических (неоптимальная температура, кислотность, соленость, влажность) и (или) биотических (присутствие хищников, паразитов, болезнетворных организмов, нехватка пищи) факторов становятся лимитирующими. Сочетание таких "ограничителей" называется сопротивлением среды. Итак, для любого биологического вида можно сформулировать следующий принцип изменения популяций: изменение популяций есть результат нарушения равновесия между ее биологическим потенциалом и сопротивлением окружающей

ее среды. Такое равновесие есть динамическое равновесие, т. е. непрерывно регулирующееся, поскольку факторы не остаются подолгу неизменными.

Указанные общебиологические закономерности могут быть применены при рассмотрении истории человечества лишь на период до XIX в. С древнейших исторических эпох до начала прошлого века численность мирового народонаселения колебалась около нескольких сотен миллионов человек, то медленно возрастая, то снижаясь. К началу неолита (нового каменного века) население Земли достигало 10 млн человек, к концу неолита (3 000 лет до н.э.) — 50 млн, а к началу нашей эры — 230 млн человек. В 1600 г. в мире насчитывалось около 480 млн, из них в Европе 96 млн, т. е. 1/5 часть всего населения Земли. В середине XIX в. — 1 млрд, в 1930 г. — 3 млрд человек.

Ныне на земном шаре проживает около 6 млрд человек, а к 2060 г. будет 10 млрд человек. Такой рост населения, естественно, приведет к еще более сильному влиянию человечества на окружающую среду и, видимо, еще больше обострит существующие на сегодня проблемы. Однако по ресурсной модели мировой системы население Земли не должно превышать 7-7,5 млрд человек.

Демографический взрыв был вызван снижением смертности детей, не достигших половой зрелости. Это явилось следствием разработки эффективности мер профилактики и лечения после открытия микробиологической природы инфекционных заболеваний.

Рано или поздно люди все-таки умирают. Почему же смерть от рака или сердечно-сосудистых заболеваний не играет такой демографической роли, как связанная с детской смертностью? Все дело в том, умер человек до появления у него детей (репродуктивная смерть) или после (пострепродуктивная смерть). Пострепродуктивная смертность не может быть фактором, ограничивающим рост населения, хотя, безусловно, имеет социальные и экономические последствия. Аналогичным образом несчастные случаи и стихийные бедствия, вопреки высказываемым иногда предположениям, не контролируют численность

населения. Эти факторы не оказывают направленного воздействия на перерепродуктивную смертность и, несмотря на социально-экономическое значение связанных с ними потерь, относительно слабо отражаются на росте населения в целом. Например, в США ежегодные потери от автокатастроф (приблизительно 50 тыс.) возмещаются в течение 10 дней. Даже войны со времен Второй мировой войны недолго отражаются на численности населения. Во вьетнамской войне погибло приблизительно 45 тыс. американцев. Естественный прирост населения в США — 150 тыс. человек в месяц — компенсирует эти потери за три недели, если считать только мужчин. Даже регулярная гибель в мире 3-6 млн человек за год от голода и неполноценного питания несущественна с точки зрения демографии, если сравнить ее с глобальным приростом населения, составляющим за этот период приблизительно 90 млн человек.

Около 1930 г., через 100 лет после достижения миллиардного уровня, численность населения превысила 2 млрд, 30 лет спустя (1960 г.) достигла 3 млрд и всего через 15 лет (1975 г.) — 4 млрд, затем еще через 12 лет (1987 г.) народонаселение Земли перевалило 5 млрд, и такой рост продолжается, составляя приблизительно 90 млн — рождение минус смертность — человек в год (рис. 18.1).

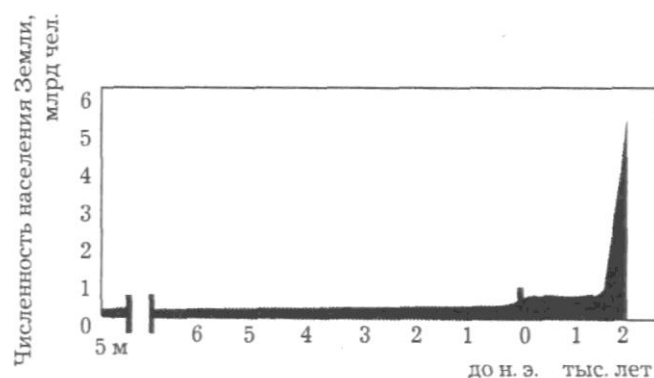


Рис. 18.1. Рост численности населения земного шара от палеолита до нашего времени

Даже при современной тенденции к снижению темпов рождаемости прирост населения превысит 6 млрд в 1999 г. и, если не произойдет резкий перелом, такой характер увеличения популяции скорее всего сохранится в XXI в. Этот прогноз основан на простой экстраполяции накопленных данных. Но они не учитывают углубляющихся экологических проблем, ставящих под сомнение существование такого количества людей в биосфере.

Особенностью постановки экологической и демографической проблематики в современной науке является осознание ее в терминах уникальности и индивидуальности, невоспроизводимости как национальных, исторических культур, так и биосферы, многих ресурсов. Даже в прошлом не было такого глобального осознания, хотя счет потерям был открыт много раньше. Навсегда исчезли некоторые экосистемы, и будущие поколения не увидят многих земных ландшафтов и пейзажей. Происходит катастрофическое сужение разнообразия, колоссальная стандартизация производства как момент опосредованного отношения человека со средой, процветает массовая культура, в которой человек теряется. В обществе, где не нашло признания право личности на индивидуальность, вряд ли стоит рассчитывать на широкое движение за сохранение уникального образа природы. Вообще, уникальность как проблема осознается только перед лицом гибели. И острота демографической и экологической проблемы заставляет по-новому взглянуть на отношения "природа — общество".

ВЫВОДЫ

1. Под биосферой Вернадский понимал тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под прямым воздействием живых организмов. Биосфера располагается на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы, находясь в диапазоне от 11 км в глубь Земли до 33 км над Землей.

2. Кроме растений и животных Вернадский включает сюда и человечество, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных живых существ, во-первых, своей интенсивностью, увеличивающейся с ходом геологического

времени; во-вторых, тем воздействием, какое деятельность людей оказывает на остальное живое вещество.

3. Экология изучает взаимодействие организмов с окружающей средой, создавая целостную картину на основе всей доступной информации. При этом термодинамический подход играет одну из ведущих ролей. Экология изучает организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, сообществ, экосистем. Если учение о биосфере сразу подняло биологию с уровня отдельных видов к целостности высшего порядка, то экология изучает различные уровни целостности, промежуточные между организменным и глобальным.

4. К важным выводам экологии относятся следующие:

- каждый организм может существовать только при условии постоянной тесной связи со средой, т. е. с другими организмами и неживой природой;

- жизнь со всеми ее проявлениями произвела глубокие изменения на нашей планете. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространялись на планете, стимулируя перераспределение энергии и вещества;

- размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается равновесие. Численность их колеблется вблизи равновесного уровня;

- принцип равновесия играет в живой природе огромную роль. Естественное равновесие существует между организмом и окружающей его неживой средой. Великое множество равновесий поддерживает общее равновесие в природе.

5. Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни. В задачу человека эпохи ноосферы входит правильное, рациональное использование ресурсов Земли, не нарушая его экологического равновесия во всех направлениях.

Вопросы для контроля знаний

1. Что включает В. И. Вернадский в понятие биосферы?
2. На каких принципах основывается учение Вернадского о биосфере?
3. Как осуществляется переход от биосферы к ноосфере?
4. Что изучает экология?
5. Какими являются основные выводы экологии?
6. Расскажите об основных трофических (пищевых) связях в экосистемах.
7. Почему солнечная энергия служит источником функционирования и развития экосистем? Обоснуйте свой ответ.
8. В чем состоят основные положения принципа равновесия?
9. Как связана деятельность общества с функционированием экосистем?
10. Почему В. И. Вернадский сравнивает деятельность разума человека с геологической силой? Что служит наименьшей единицей в экологии?
11. Каковы основные этапы в развитии биосферы?
12. Что является вершиной развития биосферы?
13. Какова специфика человека как феномена природы?
14. Дайте краткую характеристику трансформации биосферы в ноосферу.
15. Объясните важность и практическую значимость утверждения: сберегая энергию, мы сохраним природную среду нашего обитания.
16. В чем заключается радиоактивное воздействие на биосферу?
17. Приведите данные, характеризующие последствия атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки.
18. Каковы проявления последствий аварии на Чернобыльской АЭС?
19. Какие процессы происходят при взаимодействии излучения с веществом?
20. В чем проявляется действие излучения на живые организмы?
21. Как осуществляется защита от облучения?

Глава 19. МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

*Невозмутимый строй во всем,
созвучье полное в природе.*

Ф. И. Тютчев

19.1. Системный метод исследования

В широком смысле слова под системным исследованием предметов и явлений окружающего нас мира понимают такой метод, при котором они рассматриваются как части и элементы определенного целостного образования. Эти части или элементы, взаимодействуя друг с другом, определяют новые, целостные свойства системы, которые отсутствуют у отдельных ее элементов. Главное, что определяет систему, — это взаимосвязь и взаимодействие частей в рамках целого. Для системного исследования характерно именно целостное рассмотрение, установление взаимодействия составных частей или элементов совокупности, несводимость свойств целого к свойствам частей.

Учение о системах возникло в середине XIX в., но приобрело особенно важное значение в XX в. Его иначе называют еще системным подходом к изучаемым объектам, или системным анализом.

Система — это такая совокупность элементов, или частей, в которой существует их взаимное влияние и взаимное качественное преобразование. С этой точки зрения современное естествознание приблизилось к тому, чтобы стать настоящей системой, потому что все его части ныне взаимосвязаны, в нем нет уже ни одной естественной науки в рафинированно чистом виде.

Под системой понимают совокупность компонентов и устойчивых, повторяющихся связей между ними. Процесс системного рассмотрения объектов широко применяется в самых различных областях общественных, естественных и технических наук, в практике социального планирования и управления в обществе, при решении комплексных социальных проблем, при подготовке и реализации разнообразных целевых программ.

Основными свойствами систем являются следующие:

- всеобщий характер, поскольку в качестве системы могут рассматриваться все без исключения предметы и явления окружающего мира;

- невещественность;

- внутренняя противоречивость (конкретность и абстрактность, целостность и дискретность, непрерывность и прерывность);

- способность к взаимодействию;

- упорядоченность и целостность;

- устойчивость и взаимообусловленность.

Способность процессов и явлений мира образовывать системы, наличие систем, системного строения материальной действительности и форм ее познания получила название системности. Понятие системности отражает одну из характерных признаков действительности: способность вступать в такого рода взаимодействия, в результате которых образуются новые качества, не присущие исходным объектам взаимодействия.

Система — это множество объектов вместе с отношениями между объектами, между их свойствами, которые взаимодействуют между собой таким образом, что обуславливают возникновение новых, целостных, системных свойств. Для лучшего понимания природы систем рассмотрим их строение, структуру и классификацию.

Строение системы характеризуется теми компонентами, из которых она образована. Такими компонентами являются: подсистемы, части или элементы системы. Подсистемы составляют наибольшие части системы, которые обладают определенной автономностью, но в то же время они подчинены и управля-

ются системой. Элементами называют наименьшие единицы системы.

Структурой системы называют совокупность тех специфических взаимосвязей и взаимодействий, благодаря которым возникают новые целостные свойства, присущие только системе и отсутствующие у отдельных ее компонентов.

Классификация систем может производиться по самым разным основаниям деления. Прежде всего все системы можно разделить на материальные и идеальные. К материальным системам относится подавляющее большинство систем неорганического, органического и социального характера. Материальными системами называют их потому, что их содержание и свойства не зависят от познающего субъекта. Содержание и свойства идеальных систем зависят от субъекта. Наиболее простой классификацией систем является деление их на статические и динамические. Среди динамических систем обычно выделяют детерминистические и вероятностные системы. Такая классификация основывается на характере предсказания динамики поведения систем. По характеру взаимодействия с окружающей средой различают системы открытые и закрытые. Обычно выделяют те системы, с которыми данная система взаимодействует непосредственно и которые называют окружением или внешней средой системы. Все реальные системы в природе и обществе являются, как мы уже знаем, открытыми и, следовательно, взаимодействующими с окружением путем обмена веществом, энергией и информацией. Системы классифицируют также на простые и сложные. Простыми системами называют системы с небольшим числом переменных, взаимоотношения между которыми поддаются математической обработке и выведению универсальных законов. Сложная система состоит из большого числа переменных и большого количества связей между ними. Сложная система имеет свойства, которых нет у ее частей и которые являются следствием эффекта целостности системы.

Среди всех сложных систем наибольший интерес представляют системы с так называемой обратной связью. Пример: падение камня и кошки. Камень индифферентен по отношению

к нам, а кошка нет. В системе "кошка — человек" имеется обратная связь между воздействием и ее реакцией, которой нет в системе "камень — человек".

Если поведение системы усиливает внешнее воздействие, это называется положительной обратной связью, если же уменьшает внешнее воздействие — отрицательной обратной связью. Особый случай представляют гомеостатические обратные связи, которые действуют, чтобы свести внешнее воздействие к нулю. Пример: температура тела человека, которая остается постоянной благодаря гомеостатическим обратным связям.

Механизм обратной связи призван сделать систему более устойчивой, надежной и эффективной. В техническом, функциональном смысле понятие обратной связи означает, что часть выходной энергии аппарата или машины возвращается на вход. Механизм обратной связи делает систему принципиально иной, повышая степень ее внутренней организованности и давая возможность ее самоорганизации в данной системе.

Наличие механизма обратной связи позволяет дать заключение о том, что система преследует какие-то цели, т. е. что ее поведение целесообразно. Всякое целенаправленное поведение требует отрицательной обратной связи. Научное понимание целесообразности строилось на обнаружении в изучаемых предметах объективных механизмов целеполагания.

Возникновение и применение системного метода в науке знаменует значительно возросшую зрелость современного этапа его развития.

Преимуществами и перспективами системного метода исследования являются следующие:

1. Системный метод дает возможность раскрыть более глубокие закономерности, присущие широкому классу взаимосвязанных явлений. Предмет этой теории составляет установление и вывод тех принципов, которые справедливы для систем в целом.

2. Фундаментальная роль системного метода заключается в том, что с его помощью достигается наиболее полное выражение единства научного знания. Это единство проявляется, с одной

стороны, во взаимосвязи различных научных дисциплин, которая выражается в возникновении новых дисциплин на "стыке" старых (физическая химия, химическая физика, биофизика, биохимия, биогеохимия и др.), а с другой — в появлении междисциплинарных направлений исследования (кибернетика, синергетика, экология и т. п.).

3. Единство, которое выявляется при системном подходе к науке, заключается прежде всего в установлении связей и отношений между самыми различными по сложности организации, уровню познания и целостности охвата системами, с помощью которых отображаются рост и развитие нашего знания о природе. Чем обширнее система, чем сложнее она по уровню познания и структурной организации, тем больший круг явлений она в состоянии объяснить. Таким образом, единство знания находится в прямой зависимости от его системности.

4. С позиций системности, единства и целостности научного знания становится возможным правильно подойти к решению таких проблем, как редукция, или сведение одних теорий естествознания к другим, синтез, или объединение кажущихся далекими друг от друга теорий, их подтверждение и опровержение данными наблюдений и экспериментов.

5. Системный подход в корне подрывает прежние представления о естественно-научной картине мира, когда природа рассматривалась как простая совокупность различных процессов и явлений, а не тесно взаимосвязанных и взаимодействующих систем, различных как по уровню своей организации, так и по сложности.

Системный подход исходит из того, что система как целое возникает не каким-то мистическим и иррациональным путем, а в результате конкретного, специфического взаимодействия вполне определенных реальных частей. Именно вследствие такого взаимодействия частей и образуются новые интегральные свойства системы.

Таким образом, процесс познания природных и социальных систем может быть успешным только тогда, когда в них части и целое будут изучаться не в противопоставлении, а во взаимодействии друг с другом, анализ будет сопровождаться синтезом.

Вместе с тем представляются ошибочными взгляды сторонников философского учения холизма (от греч. *holos* — целое), которые считают, что целое всегда предшествует частям и всегда важнее частей. В применении к социальным системам такие принципы обосновывают подавление личности обществом, игнорирование его стремления к свободе и самостоятельности. На первый взгляд, может показаться, что концепция холизма о приоритете целого над частью согласуется с принципами системного метода, который также подчеркивает большое значение идей целостности, интеграции и единства в познании явлений и процессов природы и общества. Но при более внимательном знакомстве оказывается, что холизм преувеличивает роль целого в сравнении с частью, значение синтеза по отношению к анализу. Поэтому он является такой же односторонней концепцией, как атомизм и редукционизм. Системный метод избегает этих крайностей в познании мира. Именно вследствие взаимодействия частей образуются новые интегральные свойства системы. Но вновь возникшая целостность, в свою очередь, начинает оказывать воздействие на части, подчиняя их функционирование задачам и целям единой целостной системы.

19.2. Кибернетика - наука о сложных системах

*Наука — это неустанная
многовековая работа мысли свести
посредством системы все
познаваемые явления нашего мира.*
А. Эйнштейн

Самым значительным шагом в формировании идеи системного метода было появление кибернетики как общей теории управления в технических системах, живых организмах и обществе. В рамках кибернетики впервые было ясно показано, что процесс управления с самой общей точки зрения можно рассматривать как процесс накопления, передачи и преобразования информации. Само же управление можно отобразить с помощью определенной последовательности точных предписаний — ал-

горитмов, посредством которых осуществляется достижение поставленной цели.

Наука, которая занимается исследованиями процессов управления сложными системами с обратной связью, получила название **кибернетики** (от греч. *kybernetik* — искусство управления). Она возникла на стыке математики, техники и нейрофизиологии, и ее интересует целый класс как живых, так и неживых систем, в которых существуют механизмы обратной связи. Основателем кибернетики считается американский математик Н. Винер, выпустивший в 1948 г. книгу "Кибернетика".

Кибернетика изучает способы связи и модели управления, и в этом исследовании ей понадобилось ввести понятие **информации** (от лат. *informatio* — ознакомление, разъяснение) как меры организованности системы в противоположность понятию энтропии как меры неорганизованности. Понятие информации имеет такое большое значение, что оно вошло в заглавие нового научного направления, возникшего на базе кибернетики — информатики (соединение слов информация и математика).

С повышением энтропии уменьшается информация (поскольку все усредняется) и, наоборот, понижение энтропии увеличивает информацию. Связь информации с энтропией свидетельствует и о связи информации с энергией. **Энергия** (от греч. *energia* — деятельность) характеризует общую меру различных видов движения и взаимодействия.

Информация характеризует меру разнообразия систем. Хотя информация и энергия относительно обособлены друг от друга, тем не менее они связаны между собой. Информация растет с повышением разнообразия системы. Одним из основных законов кибернетики является закон необходимого разнообразия: эффективное управление какой-либо системой возможно только в том случае, когда разнообразие управляющей системы больше разнообразия управляемой системы. Значит, чем больше мы имеем информации о системе, которой собираемся управлять, тем эффективнее будет проходить этот процесс.

Общее значение кибернетики обозначается в следующих направлениях:

1. Философское значение — дает новое представление о мире, основанное на роли связи, управления, информации, организованности, обратной связи, целесообразности, вероятности.

2. Социальное значение — дает новое представление об обществе как организованной целой системе.

3. Общенаучное значение — дает новые понятия управления, методы исследования, формирует гипотезы о внутреннем составе и строении систем.

4. Методологическое значение — изучая простые технические системы, выдвигает гипотезы о работе сложных систем (живых организмов, мышления людей).

5. Техническое значение — создание ЭВМ, роботов, персональных компьютеров. ЭВМ и персональные компьютеры облегчают умственный труд, заменяя человеческий мозг в его наиболее простых и рутинных функциях. ЭВМ работают по принципу "да-нет", и этого оказалось достаточно для того, чтобы создать вычислительные машины, хотя и уступающие мозгу в гибкости, но превосходящие его по скорости выполнения вычислительных операций. Если же будут построены не просто человекоподобные роботы, но и превосходящие его по уму, то это повод не только для радости, но и для беспокойства, связанного как с роботизацией самого человека, так и с проблемой возможного выхода машин из-под контроля людей и даже возможного порабощения ими человека.

19.3. Методы математического моделирования

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

Г. Галилей

Выявление общего, существенного, присущего всем системам определенного рода производится наиболее общим приемом —

математическим моделированием. При математическом моделировании систем наиболее ярко проявляется эффективность единства качественных и количественных методов исследования, характеризующая магистральный путь развития современного научного познания.

Всякая сложная система, модель которой мы создаем, при своем функционировании подчиняется определенным законам — физическим, химическим, биологическим и др. Рассматриваются такие системы, для которых знание законов предполагает известные количественные соотношения, связывающие те или иные характеристики моделируемой системы. Модель создается для ответа на множество вопросов о моделируемом объекте. Интересуясь некоторыми аспектами функционирующей системы, изучают ее с определенных точек зрения. Направления изучения системы в значительной степени и определяет выбор модели. Опишем процесс построения математической модели сложной системы. Его можно представить состоящим из следующих этапов:

1. Формулируются основные вопросы о поведении системы, ответы на которые мы хотим получить с помощью модели.

2. Из множества законов, управляющих поведением системы, учитываются те, влияние которых существенно при поиске ответов на поставленные вопросы.

3. В дополнение к этим законам, если необходимо, для системы в целом или отдельных ее частей формулируются определенные гипотезы о функционировании. Как правило, эти гипотезы правдоподобны в том смысле, что могут быть приведены некоторые теоретические доводы в пользу их принятия.

4. Гипотезы, так же как и законы, выражаются в форме определенных математических соотношений, которые объединяются в некоторое формальное описание модели.

На этом заканчивается процесс построения математической модели. Далее следует процесс исследования этих соотношений с помощью аналитических и вычислительных методов, приводящий в конечном итоге к отысканию ответов на предъявляемые модели вопросы. Разрабатывается или используется созданный

ранее алгоритм для анализа этой модели. Если модель и алгоритм не слишком сложны, то может оказаться возможным аналитическое исследование модели. В противном случае составляется программа, реализующая этот алгоритм на ЭВМ. После выполнения расчетов по модели на ЭВМ их результаты обязательно сравниваются с фактической информацией из соответствующей предметной области. Это сравнение необходимо для того, чтобы убедиться в адекватности модели, в том, что модельным расчетам можно верить, их можно использовать.

Если модель хороша, то ответы, найденные с ее помощью, как правило, бывают весьма близки к ответам на те же вопросы о моделируемой системе. Более того, в этом случае зачастую с помощью модели удастся ответить и на некоторые ранее не ставившиеся вопросы, расширить круг представлений о реальной системе. Если же модель плоха, т. е. недостаточно адекватно описывает систему с точки зрения задаваемых ей вопросов, то она подлежит дальнейшему улучшению или замене. Возможны также ошибки в алгоритме, в программе для ЭВМ. Такие повторные просмотры продолжаются до тех пор, пока результаты расчетов не удовлетворят исследователя. Теперь модель готова к использованию. Критерием адекватности модели служит практика, которая и определяет, когда может закончиться процесс улучшения модели. Итак, ни ЭВМ, ни математическая модель, ни алгоритм для ее исследования порознь не могут решить достаточно сложную исходную задачу. Но вместе они представляют ту силу, которая позволяет познавать окружающий мир, управлять им в интересах человечества.

Достоинствами метода математического моделирования является то, что модель представляет собой формализованную запись тех или иных законов природы, управляющих функционированием системы. Однако определенные трудности возникают при попытке построения математической модели очень сложной системы.

Существуют различные модели, используемые для описания сложных систем, такие как:

- дескриптивные (описательные), описывающие происходящие в системе процессы;
- оптимизационные, управляющие процессом, т. е. принимающие те или иные решения;
- многокритериальные, рассматривающие систему по многим критериям;
- игровые, пригодные для исследования и рассматривающие конфликтные ситуации;
- имитационные, максимально использующие имеющуюся информацию о поведении системы.

В качестве примера рассмотрим применение математического моделирования в экологии.

19.4. Математическое моделирование в экологии

*Тысячи путей ведут к заблуждению,
к истине — только один.*

Ж. Ж. Руссо

Для исследования биологических систем, таких как биоценозы, биогеоценозы, можно применять методы математического моделирования и, используя ЭВМ для анализа процессов в этих сложных системах, значительно продвинуть вперед науку о биосфере и экологии.

Например, один из вопросов, который очень часто возникает в современной экологии, состоит в следующем: как определить численность той или иной популяции через определенное время? Ответ на него представляет не только теоретический интерес, но и имеет большое практическое значение. Действительно, не зная этого, нельзя правильно планировать эксплуатацию различных возобновимых природных ресурсов — промысловых рыб, охотничьих угодий и т. п. Для решения этих вопросов можно применить методы математического моделирования.

По распределению и численности видов имеется огромная информация, но ее нужно перевести на математический язык. Естественно, что описание судьбы отдельной особи — задача без-

надежная, поэтому вводят макроскопические характеристики, описывающие популяцию. Допустим, в момент времени t_0 число особей в популяции в среднем составляет n_0 . Если n — число особей, то изменение его со временем от числа их рождений g и числа смертей d можно записать в виде:

$$\frac{dn}{dt} = g - d.$$

В простейшем случае $g = \gamma n$, $d = \delta n$, где коэффициенты γ , δ не зависят от общей численности особей. Они могут определяться доступностью пищи, климатом, температурой и т. п. Если эти внешние условия поддерживаются постоянными, то уравнение

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_0 = (\gamma - \delta)n,$$

где $\alpha_0 = \gamma - \delta$, описывает растущую или убывающую по экспоненте популяцию, т. е. стационарного решения нет, и говорят, что рост не зависит от числа особей. Значит, эти коэффициенты должны зависеть от числа особей. Наиболее важным из всех факторов, которые мы проигнорировали, вероятно, является истощение источников питания, который можно учесть введением в уравнение члена: $-\beta n^2$. Тогда получим следующее уравнение:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_0 n - \beta n^2.$$

Оно и представляет собой математическую модель процесса изменения численности особей в популяции при котором предполагается, что пища поступает с постоянной скоростью.

Для определения численности особей в популяции в момент времени T можно воспользоваться математической моделью. Для этого разделим переменные в уравнении и, интегрируя его при условии $n(t_0) = n_0$, находим следующее уравнение:

$$n(t) = \frac{\alpha_0 n_0 e^{\alpha_0 t}}{\alpha_0 - \beta n_0 (1 - e^{\alpha_0 t})}.$$

Отсюда можно определить число особей в популяции в момент T :

$$n(T) = \frac{\alpha_0 n_0 e^{\alpha_0 T}}{\alpha_0 - \beta n_0 (1 - e^{\alpha_0 T})}.$$

Представим себе, что мы задались целью собирать урожай с рассматриваемой популяции, т. е. изымать часть особей из экосистемы. Возникает вопрос: когда и сколько собирать урожая, чтобы суммарный урожай за время от t_0 до T был максимален? Это более сложный вопрос, чем предыдущий. Не будем останавливаться на его точном решении, а отметим только, что математическая модель также дает возможность на него ответить. Качественный результат таков: пока число особей в популяции меньше некоторого критического значения, сбор урожая не производится вовсе, в дальнейшем же для достижения максимального суммарного урожая необходимо вести непрерывный сбор его.

Мы рассмотрели весьма упрощенную ситуацию, так как предполагалось, что популяция не взаимодействует ни с какими другими популяциями, учет же этого обстоятельства, конечно, значительно усложняет модель. При этом могут встретиться ситуации: конкуренция — сосуществование; хищник — жертва; симбиоз. Сосуществование имеет место, когда различные виды не питаются одной и той же пищей, не поедают друг друга, размножаются в разных местах. Тогда уравнения для численности записываются как

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_1 n - \beta_1 n^2; \quad \frac{dm}{dt} = \alpha_2 m - \beta_2 m^2.$$

Ситуация усложняется, если виды живут или пытаются жить за счет одного и того же источника пищи или зависят от одних и тех же жизненных условий. Предположим, что обе популяции потребляют один и тот же корм, которого имеется ограниченное количество, и из-за этого находятся в конкурентной борьбе друг с другом. Французский математик В. Вольтерра показал, что при таком предположении динамика популяций

достаточно хорошо описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_1 n - \varepsilon_1 (\lambda_1 n + \lambda_2 m) n;$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_2 m - \varepsilon_2 (\lambda_1 n + \lambda_2 m) m,$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \lambda_1, \lambda_2$ — действительные положительные числа.

Первые члены правых частей характеризуют скорости роста популяций, если бы не было ограничивающих факторов. Вторые же члены учитывают те изменения в скоростях, которые вызываются ограниченностью корма. Анализ этих уравнений методами теории дифференциальных уравнений позволяет сделать некоторые выводы. Со временем численность одной из популяций становится равной нулю, а численность другой стабилизируется. Та популяция, у которой отношение α/ε меньше, вымирает, другая же выживает и стабилизируется.

В любом биоценозе, кроме отмеченного, происходит взаимодействие между всеми его элементами: особи одного вида взаимодействуют с особями и своего вида, и других видов. Эти взаимодействия могут быть мирными, а могут иметь связь типа "хищник—жертва". Было замечено, что численность хищников колеблется в обратной пропорции относительности колебаний жертв. Анализ этих колебаний позволил Вито Вольтерру вывести необходимые уравнения. Примером анализа таких структур может служить эволюция численности зайцев и волков, которая характеризуется колебаниями во времени. Грубо можно подсчитать, что при их совместном существовании скорость изменения численности зайцев и волков связана с частотой их столкновений, т. е. пропорциональна количеству тех и других с некоторым коэффициентом. Уже эти соображения приведут к системе уравнений, и при определенных условиях система "хищник — жертва" придет в равновесие. В случае неожиданной флуктуации (отстрел волков, гибель зайцев и т. д.) равновесие нарушается, и система приходит в движение. Она ведет себя

как колебательная система, когда численность "хищников" и "жертв" начинает колебаться синфазно, с отставанием. Объяснение простое: рост численности зайцев приводит к увеличению питания для волков, но уменьшает количество травы, так что вскоре численность волков вырастает, а зайцев уменьшается. Затем количество травы увеличивается, но запасы пищи для волков уменьшаются, и их численность падает. Тогда поголовье зайцев снова растет, и процесс повторяется. Режим колебаний с определенным периодом оказывается устойчивым.

Модель может усложняться введением нескольких типов жертв, которым может питаться один хищник, и другими вариантами.

Кроме ситуаций "хищник—жертва" и "конкуренция—сосуществование" моделируется ситуация "симбиоз". Модель симбиоза отражает кооперацию отдельных видов в борьбе за существование, когда один вид помогает или покровительствует другому.

В этих рассмотренных нами простых схемах не хватает очень многих факторов: смены климата и погоды, связи возраста особи и смертности, колебаний запасов пищи в разное время года и на разных территориях и т. д. Но использование даже простых моделей при разных, эмпирически учтенных тех или других параметрах дает интересные результаты. Поэтому метод математического моделирования широко применяется не только в современном естествознании, но и во многих гуманитарных науках.

ВЫВОДЫ

1. Под системой понимают совокупность компонентов и устойчивых, повторяющихся связей между ними. Разделение систем на простые и сложные является фундаментальным в естествознании. Среди всех сложных систем наибольший интерес представляют системы с так называемой обратной связью.

2. Наличие механизма обратной связи позволяет сделать заключение о том, что система преследует какие-то цели, т. е. что ее поведение целесообразно. Наука, которая первой начала

исследование подобных систем, получила название кибернетики. Кибернетика — это наука об управлении сложными системами с отрицательной обратной связью.

3. Системный подход в науке XX в. — междисциплинарное направление исследований, заключающееся в рассмотрении объекта с точки зрения взаимодействия части и целого. Для системного подхода характерно именно целостное рассмотрение, установление взаимодействия составных частей или элементов совокупности, несводимость свойств целого к свойствам частей.

4. Системный подход в корне подрывает прежнее представление о естественно-научной картине мира, когда природа рассматривалась как простая совокупность различных процессов и явлений, а не тесно взаимосвязанных и взаимодействующих систем, различных как по уровню своей организации, так и по сложности. Процесс познания природных и социальных систем может быть успешным только тогда, когда в них части и целое будут изучаться не в противопоставлении, а во взаимодействии друг с другом, анализ будет сопровождаться синтезом.

5. Выделение биоценозов позволяет использовать методы математического моделирования в экологии. При таком моделировании чаще всего встречаются ситуации: "конкуренция—существование"; "симбиоз"; "хищника—жертва".

6. Математическое моделирование различных систем используется в современном естествознании как междисциплинарная методика исследования.

Вопросы для контроля знаний

1. *Какие системы называются сложными?*
2. *Как понимать обратные связи в системах?*
3. *В чем состоит целесообразность системы?*
4. *Какое значение имеет кибернетика?*
5. *В чем состоит специфика системного исследования?*
6. *Чем отличается система от агрегата?*
7. *Какое различие существует между строением и структурой системы?*

8. На чем основано применение математики в системных исследованиях?

9. В чем состоят преимущества системного метода исследования?

10. Можно ли применить системный метод к отдельному предмету?

11. Можно ли построить универсальную теорию систем? Обоснуйте ответ.

12. Чем отличается системный подход от редукционизма и холизма?

13. Какое мировоззренческое значение имеет системный метод?

Глава 20. САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПРИРОДЕ

*Человек, ставший сторонником
новой парадигмы на раннем этапе
развития, должен ... верить в успех
этой парадигмы.*

Томас Кун

20.1. Парадигма самоорганизации

В настоящее время концепция самоорганизации получает все большее распространение не только в естествознании, но и социально-гуманитарном познании. Поскольку большинство наук изучает процессы эволюции систем, постольку они вынуждены анализировать и механизмы их самоорганизации. Вот почему концепция самоорганизации становится парадигмой исследования обширного класса систем и совершающихся в них процессов и явлений. Обычно под парадигмой в науке подразумевают фундаментальную теорию, которая применяется для объяснения широкого круга явлений, относящихся к соответствующей области исследования. Примерами таких теорий могут служить классическая механика Ньютона или эволюционное учение Дарвина. Сейчас значение понятия парадигмы еще более расширилось, поскольку оно применяется не только к отдельным наукам, но и к междисциплинарным направлениям исследований. Типичными примерами таких междисциплинарных парадигм являются возникшая полвека назад кибернетика и появившаяся четверть века спустя синергетика.

Под самоорганизацией мы понимаем необратимый процесс, приводящий в результате кооперативного действия подсистем к образованию более сложных структур всей системы. Самоорганизация — элементарный процесс эволюции, состоящий из не-

ограниченной последовательности процессов самоорганизации. Термин "самоорганизация" используется для обозначения диссипативной самоорганизации, т. е. образования диссипативных структур. Наряду с диссипативной самоорганизацией существуют и другие формы самоорганизации, такие как консервативная самоорганизация (образование структур кристаллов, биополимеров и т. д.) и дисперсионная самоорганизация (образование солитонных структур).

Решающее значение для создания теории самоорганизации имели развитие и разработка методологии следующих дисциплин:

- 1) термодинамики необратимых процессов в открытых системах;
- 2) нелинейной механики, электрофизики и физики лазеров;
- 3) химической кинетики сильно неравновесных процессов;
- 4) нелинейной динамики популяций и экологии;
- 5) нелинейной теории регулирования, кибернетики и системного анализа.

Из приведенного выше перечня отчетливо виден междисциплинарный характер теории самоорганизации.

Для объяснения процессов самоорганизации рассматриваются открытые системы, которые способны обмениваться с окружающей средой веществом, энергией или информацией. Открытая система не может быть равновесной, потому ее функционирование требует непрерывного поступления энергии и вещества из внешней среды, вследствие чего неравновесие в системе усиливается. В конечном итоге прежняя взаимосвязь между элементами системы, т. е. ее прежняя структура, разрушается. Между элементами системы возникают новые согласованные связи. Благодаря этому оказалось возможным развить новую нелинейную и неравновесную термодинамику необратимых процессов, которая стала основой современной концепции самоорганизации. Для более общего и глубокого представления о конкретных механизмах самоорганизации рассмотрим основные понятия и принципы синергетики.

20.2. Синергетика

Все исследуй, давай разуму первое место.

Пифагор

К установлению общего взгляда на процессы самоорганизации разные ученые шли различными путями. Автор самого термина "синергетика" немецкий физик Герман Хакен исследовал механизмы кооперативных процессов, которые происходят в твердом лазере. Он выяснил, что частицы, составляющие активную среду резонатора, под воздействием внешнего светового поля начинают колебаться в одной фазе. В результате этого между ними устанавливается когерентное, или согласованное, взаимодействие, которое в конечном итоге приводит к их кооперативному поведению.

Самоорганизация, по определению Хакена, — спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже хаоса, спонтанный переход от неупорядоченного состояния к упорядоченному за счет совместного, кооперативного (синхронного) действия многих подсистем. Хакен считает, что название новой дисциплины синергетикой обусловлено тем, что в ней исследуются совместные действия многих элементов систем, и для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин. Таким образом, при самоорганизации из хаоса порождается порядок.

Синергетика сформулировала принцип самодвижения в неживой природе, создание более сложных систем из более простых. С этой парадигмой в физику проник эволюционный подход, и наука приходит к пониманию творения как создания нового. Синергетика ввела случайность на макроскопический уровень, подтвердив тем самым выводы механики для микроскопического уровня.

В синергетике в противоположность кибернетике исследуются механизмы возникновения новых состояний, структур и форм в процессе самоорганизации, а не сохранения и поддер-

жания старых форм. Поэтому она опирается на принцип положительной обратной связи, когда изменения, возникающие в системе, не подавляются и корректируются, а, наоборот, постепенно накапливаются и в конце концов приводят к разрушению старой и возникновению новой системы.

Кибернетика отличается от синергетики тем, что она акцентирует внимание на анализе динамического равновесия в самоорганизующихся системах. Поэтому она опирается на принцип отрицательной обратной связи, согласно которому всякое отклонение системы корректируется управляющим устройством после получения информации об этом.

Синергетика подтвердила вывод теории относительности о взаимопревращении вещества и энергии и объясняет образование веществ. С точки зрения синергетики энергия как бы застывает в виде кристаллов, превращаясь из кинетической в потенциальную. Вещество — это застывшая энергия. Энергия — понятие, характеризующее способность производить работу, но энергия сейчас может пониматься не только в смысле механической работы, но и как создатель новых структур.

Энтропия — это форма выражения количества связанной энергии, которую имеет вещество. Энергия — творец, энтропия — мера творчества.

Синергетика отвечает на вопрос, за счет чего происходит эволюция в природе. Везде, где создаются новые структуры, необходим приток энергии и обмен со средой. Если в эволюции небесных тел мы видим результат производства, то в синергетике изучается процесс творчества природы. Синергетика подтверждает вывод теории относительности: энергия творит более высокие уровни организации.

Развитие понимается в синергетике как процесс становления качественно нового, того, что еще не существовало в природе и предсказать которое невозможно. Механизм, который ею предлагается, — это спонтанная флуктуация, событие в точке бифуркации, экспоненциальный процесс до определенного момента. Основным понятием предстает понятие неустойчивости. Так из хаоса (неустойчивости) рождается космос. Пр

спонтанной флуктуации поля начинается самопроизвольный процесс порождения частиц вплоть до какого-то момента, когда он прекращается. Частицы порождаются энергией по модели, сформулированной в синергетике. Первые частицы, которые появились, были нестабильными элементарными частицами без массы покоя и с кратчайшим временем существования. Затем они превратились в стабильные, существующие и поныне. Итак, последовательность рождения материи из вакуума: спонтанность флуктуации —> точка бифуркации —> черные мини-дыры —> —> пространство-время —> частицы.

Квантовый вакуум отличается от "ничто" тем, что имеет универсальные постоянные, которые могут служить аналогом всеединства. Размеры Вселенной растут по экспоненте как следствие неустойчивости вакуума. В результате расширения Вселенной при зарождении материи Вселенная приближается к первоначальному состоянию вакуума. Потом возможна новая флуктуация.

Таким образом, если кибернетика решает проблему рождения разума, то синергетика — проблему рождения материи.

Необходимо подчеркнуть, что синергетика является научным направлением, изучающим открытые системы в состояниях, далеких от равновесия.

20.3. Особенности эволюции неравновесных систем

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

А. П. Чехов

Законы термодинамики, являющиеся обобщением большого количества экспериментального материала, опыта, утверждают, что изолированная, замкнутая система со временем приходит в положение равновесия. С молекулярно-кинетической точки зрения положению равновесия отвечает состояние максимального хаоса. При удалении от равновесия состояние становится

все более неустойчивым, и даже малые изменения какого-либо параметра могут перевести систему в новое состояние. Поэтому при изучении образования новых структур от замкнутых систем следует перейти к рассмотрению систем открытых, которые могут обмениваться с окружающей средой веществом или энергией, т. е. неравновесным состоянием. Отличия неравновесной структуры от равновесной заключаются в следующем:

1. Система реагирует на внешние условия (гравитационное, электромагнитное поля и т. п.).
2. Поведение системы случайно и не зависит от начальных условий, т. е. не зависит от предыстории.
3. Приток энергии создает в системе порядок, и, стало быть, энтропия уменьшается.
4. Наличие в развитии системы бифуркации — переломной точки в развитии системы.
5. Когерентность — система ведет себя как единое целое, как если бы она была вместилищем далекодействующих сил.

Таким образом, различают области равновесности и неравновесности, в которых может пребывать система. Ее поведение при этом существенно меняется.

Изучение неравновесных состояний позволяет прийти к общим выводам относительно эволюции в неживой природе, при которой происходит переход от хаоса к порядку. Эволюция неживой природы является сложным вероятностным процессом с весьма варьирующимся соотношением детерминированных и стохастических компонентов, и поэтому ее общий ход в чем-то непредсказуем. Непредсказуемость эволюции не абсолютная. Одни детали предвидеть невозможно, другие можно предвидеть с большей или меньшей достоверностью, где слишком многое зависит от обстоятельств, объективно случайных по отношению к ходу процесса.

Эволюция системы должна удовлетворять следующим трем требованиям:

- 1) в развитии системы наблюдается необратимость, выражающаяся в нарушении симметрии между прошлым и будущим;

2) возникает необходимость введения при рассмотрении развития понятия "событие";

3) некоторые события должны обладать способностью изменять ход эволюции.

При этом основными условиями формирования новых структур являются следующие: 1) открытость системы; 2) нахождение ее вдали от равновесия; 3) наличие флуктуации в системе.

Чем сложнее система, тем больше многочисленные типы флуктуации, угрожающих ее устойчивости. Но в сложных системах существуют связи между различными частями. От исхода конкуренции между устойчивостью, обеспечивающейся связью, и неустойчивостью, возникающей из-за флуктуации, зависит порог устойчивости системы. Превзойдя этот порог, система попадает в критическое состояние, называемое точкой бифуркации. В ней система становится неустойчивой относительно флуктуаций и может перейти к новой области устойчивости, т. е. к образованию новой более сложной системы. Система как бы колеблется перед выбором одного из нескольких путей ее эволюции. Небольшая флуктуация может послужить в этой точке началом эволюции в совершенно новом направлении, которое резко изменит все ее поведение. Это и есть событие.

В точке бифуркации случайность подталкивает то, что остается от системы, на новый путь развития, а после того как один из многих возможных вариантов выбран, вновь вступает в силу детерминизм — и так до следующей точки бифуркации. В судьбе системы случайность и необходимость взаимно дополняют друг друга.

Главенствующую роль в эволюции окружающего мира играют не порядок, стабильность и равновесие, а неустойчивость и неравновесность, т. е. все системы непрестанно флуктуируют. В особой точке бифуркации флуктуация достигает такой силы, что организация системы не выдерживает и разрушается, и принципиально невозможно предсказать: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности, который называют диссипативной структурой. Новые структуры

называются диссипативными, потому что для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых структур, на смену которым они приходят. Диссипативные структуры существуют лишь постольку, поскольку система диссипирует (рассеивает) энергию и, следовательно, производит энтропию. Из энергии возникает порядок с увеличением общей энтропии. Таким образом, энтропия — не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации (как думали сторонники "тепловой смерти Вселенной"), а при определенных условиях становится прародительницей порядка. С одними и теми же граничными условиями оказываются совместимыми множество различных диссипативных структур. Это — следствие нелинейного характера сильно неравновесных ситуаций. Малые различия могут привести к крупномасштабным последствиям. Следовательно, граничные условия необходимы, но недостаточны для объяснения причин возникновения структуры. Необходимо также учитывать реальные процессы, приводящие к "выбору" одной из возможных структур. Именно поэтому (а также в силу некоторых других причин) приписывают таким системам определенную автономию или самоорганизацию.

20.4. Самоорганизация - источник и основа эволюции

*Что Дарвина ошибочно суждение:
была любовь причиною рожденья.*
Р. Гамзатов

Современное эволюционное мышление сложилось в XVIII и XIX вв. и неразрывно связано с великими именами Канта, Гегеля, Маркса, Дарвина и Клаузиуса. И. Кант предпринял попытку объяснить происхождение мира исходя из физических законов. То, что Кант — с немалой претензией — сделал для исследования космической эволюции, Г. Гегель совершил для открытия общих законов диалектики. К. Марксу мы обязаны знанием некоторых законов общественной эволюции, а Ч. Дарвину — обоснованной

теорией происхождения видов. Дарвин сформулировал принцип отбора и продемонстрировал его значение для эволюции в биологии. Лингвист Шлейхер около 1850 г. совершенно независимо от Дарвина установил аналогичный принцип для развития естественных языков и тем самым заложил основы теории эволюции языковой коммуникации. Наконец, Клаузиус сформулировал важнейший закон процессов эволюции — второе начало термодинамики. К Клаузиусу восходят первые соображения относительно физически обоснованных моделей космического развития. Сколь ни сомнительным может казаться с современной точки зрения вывод Клаузиуса о "тепловой смерти Вселенной", именно этот вывод послужил толчком к развитию теоретической мысли, которая в работах Эйнштейна, Фридмана и Гамова привела к ныне широко принятой релятивистско-термодинамической модели эволюции. И, наконец, современная теория эволюции, основанная на концепции самоорганизации, рассматривает процесс эволюции как неограниченную последовательность процессов самоорганизации систем.

Эволюционная теория Дарвина послужила мощным толчком для развертывания исследований о механизмах развития различных природных и социальных систем. Если физические и химические методы исследования многое дали для анализа структуры и функционирования живых систем, то эволюционная концепция биологии заставила физиков и химиков по-новому взглянуть на объекты своих исследований и природу в целом. В самом деле, если в теории Дарвина эволюция приводила к совершенствованию и усложнению живых систем в результате их адаптации к изменяющимся условиям среды, то в классической физике она связывалась с дезорганизацией и разрушением системы. Такое представление вытекало из второго начала термодинамики, согласно которому закрытая система постепенно эволюционирует в сторону беспорядка, дезорганизации и увеличению энтропии. Понятие энтропии характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для производства работы. Поэтому в отличие от свободной энергии она представляет собой деградированную, отработанную

энергию. Если обозначить свободную энергию F , энтропию — S , то полная энергия системы $E = F + S \cdot T$.

Согласно второму закону термодинамики, энтропия в замкнутой системе постоянно возрастает и в конечном счете стремится к своему максимальному значению. Следовательно, по степени возрастания энтропии можно судить об эволюции замкнутой системы, а тем самым и о времени ее изменения. Немецкий ученый Л. Больцман стал интерпретировать энтропию как меру беспорядка в системе. Таким образом, второй закон можно было теперь сформулировать так: замкнутая система, предоставленная самой себе, стремится к достижению наиболее вероятного состояния, заключающегося в ее максимальной дезорганизации. К такому равновесному состоянию в соответствии со вторым началом термодинамики приходят все закрытые системы, т. е. системы, не получающие энергии извне. Противоположные по типу системы носят название открытых.

Резкое противоречие между биологической и физической эволюцией удалось разрешить только после того, когда физика обратилась к понятию открытой системы, т. е. системы, которая обменивается с окружающей средой веществом, энергией и информацией. При определенных условиях в открытых системах могут возникнуть процессы самоорганизации в результате получения новой энергии и вещества извне и диссипации, или рассеяния, использованной в системе энергии. Таким образом, было установлено, что ключ к пониманию процессов самоорганизации содержится в исследовании процессов взаимодействия системы с окружающей средой.

Процессы самоорганизации исследовали разные ученые в разных направлениях естествознания. В 1951 г. Б. П. Белоусов описал самоорганизующуюся химическую реакцию, в которой возникают самоподдерживающиеся колебания во времени. Более подробно такого рода реакции были исследованы группой ученых под руководством А. М. Жаботинского. В этих реакциях малоновая кислота как органическое вещество окисляется бро-матами в растворе серной кислоты в присутствии определенного катализатора. В результате реакций раствор, в котором

находятся эти вещества, начинает периодически менять свою окраску с голубого на красный, так что этот самоорганизующийся процесс можно рассматривать как своеобразные "химические часы". В дальнейшем было обнаружено возникновение не только периодических структур во времени, но и в пространстве или одновременно в пространстве и во времени. Механизмы таких реакций весьма сложны.

Видный теоретик самоорганизации И. Р. Пригожин пришел к своим идеям из анализа специфических химических реакций, которые приводят к образованию определенных пространственных структур с течением времени при изменении концентрации реагирующих веществ. Вместе со своими сотрудниками он построил математическую модель таких реакций. Теоретической основой модели стала нелинейная термодинамика, изучающая процессы, происходящие в нелинейных неравновесных системах под воздействием флуктуаций. Если такая система удалена от точки термодинамического равновесия, то возникающие в ней флуктуации в результате взаимодействия со средой будут усиливаться и в конце концов приведут к разрушению прежнего порядка или структуры, а тем самым и к возникновению новой системы. Структура и системы, возникающие при этом, И. Р. Пригожин назвал диссипативными, поскольку они образуются за счет диссипации, или рассеяния, энергии, использованной системой, и получения из окружающей среды новой, свежей энергии. За исследования по термодинамике диссипативных структур И. Р. Пригожину была присуждена Нобелевская премия.

Другой видный теоретик самоорганизации — немецкий ученый М. Эйген — доказал, что открытый Ч. Дарвиным принцип отбора продолжает сохранять свое значение и на микроуровне. Поэтому он имел все основания утверждать, что генезис жизни есть результат процесса отбора, происходящего на молекулярном уровне. Он показал, что сложные органические структуры с адаптационными характеристиками возникают благодаря эволюционному процессу отбора, в котором адаптация оптимизируется самими структурами. Предпосылками осуществления такой самоорганизации макромолекул являются взаимодействие

системы со средой или открытость для обмена веществом и энергией, автокатализ, мутации и естественный отбор.

Таким образом, медленно, но неуклонно в разных направлениях науки формировалось убеждение, что во всех этих исследованиях существует единое концептуальное ядро, которое служит общей их основой. Оно и составляет парадигму исследования процессов самоорганизации.

Таким образом, эволюцию можно рассматривать как неограниченную последовательность процессов самоорганизации. Общая схема процесса эволюции при этом принципиально сводится к следующему (рис. 20.1):



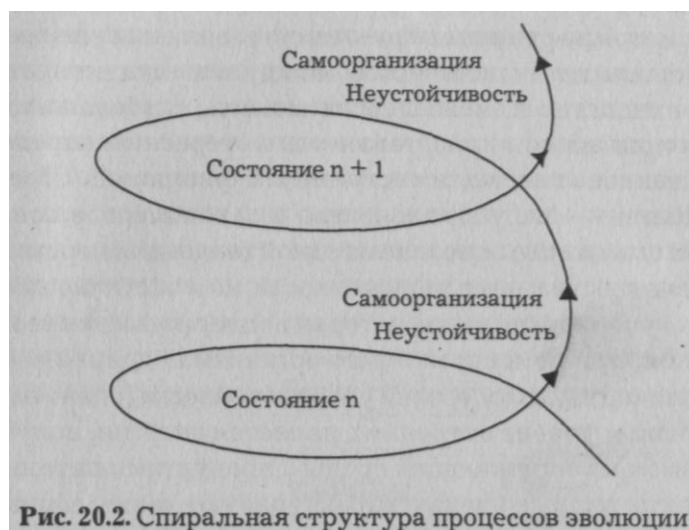
Рис. 20.1. Процесс эволюции как неограниченная последовательность процессов самоорганизации

1. Относительно стабильное n -е состояние эволюции утрачивает устойчивость. В качестве причин, вызывающих потерю устойчивости, выступают временные изменения внутреннего состояния или наложенных краевых условий. Особенно характерной причиной эволюционной неустойчивости является внезапное появление новой модели движения, новой разновидности молекул в химии, нового вида в биологии. Этот новый элемент в рассматриваемой динамической системе приводит к потере устойчивости состояния системы, которое до появления нового элемента было устойчивым.

2. Неустойчивость, обусловленная новым элементом в системе, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы. Система порождает новые упорядоченные структуры.

3. По завершении процесса самоорганизации эволюционная система переходит в эволюционное состояние ($n+1$). После этого

n -го эволюционного цикла начинается новый $(n+1)$ -й эволюционный цикл (рис. 20.2).



20.5. Самоорганизация в различных видах эволюции

*На скорлупу и ядро бесцельно
делить природу, все в ней
нераздельно.*

Гете

Теория самоорганизации, возникшая на основе исследования простейших физико-химических систем, оказалась способной объяснить многие эволюционные процессы, происходящие в биологических, экологических и даже социально-культурных системах. Но главное преимущество ее состоит в том, что новая парадигма помогает взглянуть на мир и составляющие ее системы с точки зрения их возникновения и развития без привлечения каких-либо мистических сил. Учение самоорганизации может раскрыть механизмы эволюции, происходящие от простейших

систем живой природы до сложных форм эволюции в биологических, социально-экономических и культурно-исторических системах.

Несмотря на существенное отличие эволюции неживой природы от эволюции биологической, между ними существует также большое сходство и, можно даже сказать, глубокая аналогия. С этой точки зрения представляется интересным определение жизни, данное известным австрийским физиком Э. Шредингером: "Жизнь — это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время. Средством, при помощи которого организм поддерживает себя на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), является энергия, получаемая организмом из окружающей среды с продуктами питания".

Многие видные ученые характеризуют также социальную эволюцию как продолжение биологической или генетической эволюции другими средствами. Некоторые даже считают культуру более мощным средством приспособления. Новейшая концепция эволюции, опирающаяся на парадигму самоорганизации, оказывается более адекватной и для анализа социально-культурной эволюции.

Социальная эволюция, так же как и эволюция природная, возникает в результате взаимодействия с окружающей средой. В природе адаптация к изменениям среды происходит путем естественного отбора, в результате которого побеждают в борьбе за существование и оставляют потомство наиболее приспособленные к условиям существования группы растений и животных. Таким образом, эволюция здесь происходит путем генетической передачи информации от родителей к потомкам.

У общества существуют свои методы и средства передачи приобретенного опыта, причем не только индивидуального, но и социального характера. Эти методы характеризуют как традиции. Традиции придают социальной эволюции более ус-

коренный характер по сравнению с эволюцией генетической, которая наблюдается в природе. Сюда относятся все способы передачи опыта, начиная от простейших навыков и правил поведения и кончая сложнейшими приемами профессиональной деятельности, накопленными знаниями и общечеловеческими нормами поведения. Действительно, социальная и культурная эволюция связана не только с передачей индивидуального опыта, навыков, знаний и правил поведения и традиций в целом всех предшествующих поколений людей в той мере, в какой они зафиксированы и объективизированы в результате практической и интеллектуальной деятельности.

Таким образом, самоорганизация выступает как источник эволюции систем и жизни, так как она служит началом процесса возникновения новых и более сложных структур в развитии системы.

ВЫВОДЫ

1. При определенных неравновесных условиях в открытой системе за счет внутренних перестроек могут возникнуть упорядоченные структуры. Эту особенность системы назвали самоорганизацией, а сами структуры, возникающие в диссипативных системах при неравновесных необратимых процессах, Пригожин назвал диссипативными. Под влиянием действия крупномасштабных флуктуаций возникают коллективные формы движения, между которыми начинается конкуренция, происходит отбор устойчивых, возникают новые структуры.

2. Устойчивые состояния не теряют устойчивости при флуктуациях параметров — влияние флуктуаций погашается за счет внутренних процессов. Неустойчивые системы, наоборот, начинают усиливать флуктуации.

3. Г. Хакен выделил в спонтанном переходе к организации роль коллективных процессов, коллективного действия многих подсистем. Отсюда и название складывающейся концепции — синергетика. Синергетика изучает механизмы взаимодействия в сложных открытых системах с положительной обратной связью.

Это взаимодействие ведет к согласованному, кооперативному поведению подсистем и сопровождается образованием новых устойчивых структур и самоорганизацией системы.

4. Самоорганизация выступает как источник эволюции систем, так как она служит началом процесса возникновения качественно новых и более сложных структур в развитии системы. Образование упорядоченных структур происходит в открытых системах при достижении определенного порогового значения в далеком от равновесия состоянии. На микроуровне при самоорганизации происходит процесс расширения или увеличения флуктуаций вследствие увеличения неравновесности системы под воздействием среды. Переход скачком в новое состояние с потерей линейности законов называют бифуркацией. Этот процесс остается незаметным на макроуровне, пока изменения не достигнут некоторой критической точки, после которой спонтанно возникает новый порядок или структура.

Вопросы для контроля знаний

1. Почему концепция самоорганизации превратилась сегодня в парадигму исследования обширного класса сложноорганизованных систем?
2. Какие исследования называют междисциплинарными? Приведите примеры.
3. Кем и в какой науке впервые была высказана идея самоорганизации?
4. В чем состояло противоречие между эволюционной теорией Дарвина и классической термодинамикой?
5. Объясните, как происходит самоорганизация в лазерах, которые изучал Г. Хакен?
6. В чем состоят особенности самоорганизации в химических реакциях?
7. Какие структуры называют диссипативными и почему?
8. Чем отличаются подходы к самоорганизации в кибернетике и синергетике?
9. Почему самоорганизация выступает основой и источником эволюции?
10. Какие методы и средства передачи накопленного опыта существуют у общества? Какую роль они играют в социальной и культурной эволюции?

11. Что представляет собой самоорганизующаяся система?
12. Какие этапы различают для самоорганизующихся систем?
13. Какие основные положения составляют сущность концепции развития?
14. Что означает системность в описании самоорганизующихся процессов?
15. Что характеризует динамизм самоорганизующихся систем?
16. В чем заключается самоорганизация структурных систем?
17. Какова роль объединения и фракционирования в процессе развития системы?
18. Что означает точка бифуркации?

Глава 21. СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И БУДУЩЕЕ НАУКИ

*Для нас наука естествознание —
тот рычаг Архимеда, который
единственно способен повернуть
лицом к Солнцу разума.*

М.Горьки
й

21.1. Особенности современного этапа развития науки

Усиление внимания к проблемам интеграции науки, в особенности к взаимодействию гуманитарных, социально-экономических, естественных и технических наук, неизбежно в условиях интенсификации научной деятельности. Раскрытие материального единства мира уже не стало привилегией физики, философии и вообще наук о природе; в этот процесс активно включились науки социально-экономические и технические. Материальное единство мира в тех областях, где человек преобразовывает природу, не может быть раскрыто лишь естественными науками, ибо взаимодействующее с ней общество тоже представляет собой материю, высшую на современном этапе ступень развития. В процесс доказательства материального единства мира включаются не только интегративные научные направления, но через них и гуманитарные, социально-экономические и технические науки. Технические науки, отображающие законы движения материальных средств человеческой деятельности, являющиеся связующим звеном во взаимодействии человека и природы, также свидетельствуют о материальности средств человеческой деятельности, с помощью которых познается и

преобразуется природа, а человек защищается от отрицательных воздействий внешней среды. Природные и социальные компоненты соединяются в технических средствах деятельности, и тем самым они выступают в качестве соединительного звена этих двух качественно различных состояний движения материи, взаимодействующих между собой.

В доказательство материального единства мира включились все основные подразделения современной науки, и процесс аргументации идет не только в сфере той или иной науки или региона, но и на стыках дисциплин и подразделений науки, в процессе их взаимодействия. Мы теперь можем сказать, что доказательство материального единства мира стало делом не только философии и естествознания, но и всей науки в целом, превратилось в задачу общенаучного характера, требующего усиления взаимосвязи указанных выше наук.

Конечно, наибольший вклад в это вносит естествознание, которое в соответствии с характером своего предмета имеет двоякую цель: 1) раскрытие сущности явлений природы, познание их законов; 2) выяснение и обоснование возможности на практике использования познанных законов природы. Можно сказать, что познание законов природы есть непосредственная цель естествознания, а содействие практическому использованию этих законов в интересах человека есть его конечная цель.

Возможность научного предвидения и использования в практических интересах человека явлений природы основана на познании человеком объективных, т. е. независимо от него существующих законов природы и на овладении ими. Объективность, независимость от человека есть существенный признак законов природы в отличие от законов, правил и норм, устанавливаемых самими людьми по своему усмотрению. Отсюда невозможность по своему усмотрению изменять, а тем более уничтожать или создавать законы природы или хотя бы нарушать их всеобщность путем создания исключений из них. Таким образом, естествознание непосредственно ставит задачу познания законов природы и возможности их практического использования. Если естествознание открывает и изучает то, что может быть использовано

практически (различные виды материи, формы ее движения, различные силы природы и их законы), то техника и технические дисциплины решают задачу — как именно эти законы могут быть применены и использованы в интересах человека.

Познание окружающего мира — процесс весьма сложный. Он мало напоминает прогулку по прямой и ровной дороге, в конце которой путника ждет желанный результат. Познающего человека можно сравнить с путником, перед которым расстилается целая сеть извилистых лесных тропинок. Как образно отметил мыслитель средневекового Востока Ибн Сина (Авиценна), что возьмет тебя за руку удача и выведет из тупика блуждений, а может случиться, что замешательство заставит тебя застыть на месте, а может оказаться так, что заманит тебя в ловушку правдоподобие измышлений. В последнем случае результатом познания становится не истина, а "правдоподобные измышления" — заблуждения.

В процессе познания окружающего мира люди избавляются от неточностей своих представлений, дополняют запасы сведений о нем прежде всего посредством углубления знаний о разных сторонах, свойствах, признаках предметов и явлений, обнаружения новых связей и зависимостей. Постепенно раскрываются законы, формируются принципы и появляются научные теории о микро-, макро-, и мегамирах.

Материя неисчерпаема, и поэтому конкретные результаты развития могут быть различными в зависимости от условий и характера действующих сил. Поэтому и конкретные формы жизни во Вселенной также могут быть многообразными. Обязательной здесь может быть общая закономерная тенденция, в результате которой из неживой материи возникает жизнь, а затем и разумные существа. С возникновением мыслящих существ материя как бы приходит к осознанию законов своего движения. Учитывая положение, что материя существует бесконечно, это осознание материального мира происходило и происходит бесчисленное количество раз. Можно также предполагать, что те проблемы, которые сейчас старается решить человеческий ум, были уже неоднократно, может быть, в других формах решен

разумными существами в иных мирах Вселенной, хотя для нас эти решения остались пока неизвестными.

21.2. Естествознание и мировоззрение

*Все наши знания — прошлые,
настоящие и будущие — ничто по
сравнению с тем, о чем мы никогда
не узнаем.*

К. Э. Циолковский

Основная **цель** современного естествознания — познание мира, формирование нашего личного мировоззрения. Так что же такое мировоззрение? Самая древняя форма мировоззрения — это мифология и религия — фантастическое отражение действительности, возникавшее в сознании первобытного человека.

Миф (мифология) — это особый вид мировоззрения, где в ранней форме человеческой культуры объединялись зачатки знаний, религиозных верований, нравственная, эстетическая и эмоциональная оценка ситуации. Содержание мифа давала возможность первобытному человеку устанавливать духовную связь прошлого с будущим. Поэтому значительную часть мифологии составляли космические мифы, посвященные устройству окружающей природы, возникновению и развитию животных и людей.

Религия основана на вере в сверхъестественное и апеллирует к чувствам и образам, к иррациональному. Религиозное мировоззрение выражается в общении с "божеством", со "сверхъестественным" при помощи молитв, таинств, святынь, символики. Оно основано на молитвенном и жертвенном отношении к сверхъестественному, признание которого всегда скрыто в глубинах мировых религий. В религиозном мировоззрении человеческая личность принижена, придавлена.

Научное мировоззрение — это взгляд на мир (Вселенную), на природу и общество, на все, что нас окружает и что проис-

ходит в нас самих, всецело основанный на достижениях современных наук, проникнутый методом научного познания и не оставляющий места различного рода суевериям, предрассудкам, донаучным и вненаучным способам мышления. Научное мировоззрение — это взгляд на мир и на место человека в этом мире, который отражает вещи и процессы такими, какими они существуют в действительности, без вымыслов, заблуждений и лжи; оно основано всецело на достигнутом уровне знаний всех наук. Понятие научности применительно к мировоззрению означает ряд его существенных признаков:

1. Научное мировоззрение — это прежде всего объяснение фактов, осмысление их во всей системе понятий соответствующей науки.

2. Научное мировоззрение вскрывает причинные и закономерные связи вещей, за случайным оно усматривает необходимое, за единичным — общее.

3. Оно предполагает предвидение, предвосхищение событий, раскрытие дали грядущих явлений и процессов.

4. Существенным признаком научного мировоззрения является его системность, т. е. такая совокупность научных идей, которая приведена в порядок на основании определенных теоретических принципов.

Обобщенная система знаний человека о природных явлениях и его отношении к основным принципам бытия природы составляет естественно-научный аспект мировоззрения. Является ли природа движущей материей или она зависит от каких-то сверхъестественных сил? Бесконечно ли мироздание в пространстве и времени или конечно? Одиноки ли мы, живые разумные существа, во Вселенной, или в иных мирах существуют также разумные существа? Каковы строение материи и движущие силы ее развития? Имеет ли место развитие по пути прогресса или природа движется по кругу? Все эти и многие другие аналогичные вопросы носят мировоззренческий характер. Любое мировоззрение содержит в себе прежде всего знания, определенную информацию о природе, общественной жизни человека и познании. Мировоззрение — это характер и направ-

ление мышления, духовная сердцевина и основа человеческой индивидуальности. Оно является социальным способом существования личности, в котором содержатся основные жизненные позиции, убеждения, идеалы, основные принципы познания и деятельности. Мировоззрение — необходимая составляющая человеческого сознания, познания. Это не просто один из его элементов в ряду многих других, а их сложное взаимодействие. Разнородные "блоки" знаний, убеждений, мыслей, чувств, настроений, стремлений, надежд, соединяясь в мировоззрении, предстают как более или менее целостное понимание людьми мира и самих себя.

Мировоззрение — образование интегральное. В нем принципиально важна связь его компонентов, их "сплав". И как в сплаве различные сочетания элементов, их пропорции дают разные результаты, так нечто подобное происходит и с мировоззрением. В состав мировоззрения входят и играют в нем важную роль обобщенные знания повседневные, жизненно-практические, профессиональные, научные. Чем солиднее запас в ту или иную эпоху, у того или иного народа или отдельного человека, тем более серьезную опору может получить соответствующее мировоззрение. Наивное, непросвещенное сознание не располагает достаточными средствами для четкого, последовательного, рационального обоснования своих взглядов, обращаясь часто к фантастическим вымыслам, поверьям, обычаям.

Мировоззрение — комплексная форма сознания, объемлющая самые разные "пласты" человеческого опыта, — способно раздвигать узкие рамки повседневности, конкретного места и времени, соотносить данного человека с другими людьми, включая и тех, что жили раньше, будут жить потом. В мировоззрении накапливается опыт уяснения смысловой основы человеческой жизни, все новые поколения людей приобщаются к духовному миру прадедов, дедов, отцов, современников, что-то бережно храня, от чего-то решительно отказываясь. Итак, мировоззрение — это совокупность взглядов, оценок, принципов, определяющих самое общее видение, понимание мира.

21.3. Естествознание и философия

Если у вас яблоко и у меня яблоко и мы обмениваемся, то остаемся при своих — у каждого по яблоку. Но если у каждого у нас по одной идее и мы передаем их друг другу, то ситуация меняется. Каждый из нас становится богаче, а именно — обладателем двух идей.

Б. Шоу

Наука является одной из определяющих особенностей современной культуры и, возможно, самым динамичным ее компонентом. Сегодня невозможно обсуждать социальные, культурные, антропологические проблемы, не принимая во внимание развитие научной мысли. Ни одна из крупнейших философских концепций XX в. не могла обойти феномена науки, не выразить своего отношения к науке в целом и к тем мировоззренческим проблемам, которые она ставит.

Обсуждение множества мировоззренческо-философских вопросов сопровождало становление и развитие современной науки и было необходимой формой осознания особенностей как самой науки, так и той цивилизации, в рамках которой научное отношение к миру стало возможным. Сегодня эти вопросы стоят в новой и весьма острой форме. Это связано прежде всего с той ситуацией, в которой оказалась современная цивилизация. С одной стороны, выявились невиданные перспективы науки и основанной на ней техники. Современное общество вступает в информационную стадию развития, рационализация всей социальной жизни становится не только возможной, но жизненно необходимой. С другой стороны, обнаружились пределы развития цивилизации односторонне технологического типа: и в связи с глобальным экологическим кризисом, и как следствие выявившейся невозможности тотального управления социальными процессами.

Наука в своих глубинных основаниях всегда была связана с философией. Взаимодействие философии и науки хорошо

прослеживается в творчестве многих естествоиспытателей. Особенно оно характерно для переломных эпох, когда создавалось принципиально новое научное знание. Можно вспомнить, скажем, "Правила умозаключений в физике", разработанные великим Ньютоном, которые заложили методологический фундамент классической науки и на столетие вперед стали эталоном научного метода в физико-математическом естествознании. Значительное внимание философским проблемам уделяли и создатели неклассической науки: Эйнштейн и Бор, Борн и Гейзенберг, а у нас в России — В. И. Вернадский, предвосхитивший в своих философских размышлениях ряд особенностей научного метода и научной картины мира наших дней.

Высоко оценивая роль философской мысли в науке, В. И. Вернадский, однако, проводил между ними границу, хорошо понимая, что каждая из этих сфер человеческой культуры имеет свою специфику. Игнорирование этой автономии научной деятельности, грубое вмешательство в научные исследования факторов вненаучных, да еще в догматическом виде, приводило к тяжелым последствиям. Трагической оказалась судьба многих выдающихся ученых, всем памятные имена Н. И. Вавилова, Н. К. Кольцова и др. Были репрессированы целые науки и направления научного поиска (генетика, кибернетика, релятивистская космология и др.). Некомпетентное вмешательство в науку не раз создавало препятствия для свободного научного исследования. Нельзя забыть и попытки тех или иных естествоиспытателей отстаивать свои несостоятельные концепции с помощью псевдофилософской риторики. Примерами этого изобилует развитие практически всех наук определенной эпохи. Но все они не бросают тень на самую идею связи науки и естествознания, сотрудничества специалистов разных областей науки с философами.

Нуждается в философском осмыслении и современная наука, которая имеет ряд особенностей, качественно отличающих ее от науки даже недавнего прошлого. Говоря об этих особенностях, следует иметь в виду не только научно-исследовательскую деятельность саму по себе, но и ее роль в качестве интеллектуального фундамента технологического прогресса, стремительно

меняющего современный мир, а также социальные последствия современной науки.

Отметим следующие моменты в изменении образа науки наших дней:

1. Для научного познания в целом становятся все более характерными коллективные формы деятельности, осуществляемые, как выражаются философы, научными сообществами. Наука все более становится не просто системой абстрактных знаний о мире, но и одним из проявлений человеческой деятельности, принявшей форму особого социального института. Изучение социальных аспектов естественных, общественных, технических наук в связи с проблемой научного творчества представляет собой интересную, пока еще во многом открытую проблему.

2. В современную науку все более проникают методы, основанные на новых технологиях, а с другой стороны — новые математические методы, которые серьезно меняют прежнюю методологию научного познания; следовательно, требуются и философские коррективы по этому поводу. Принципиально новым методом исследования стал, например, вычислительный эксперимент, который получил сейчас самое широкое распространение. Какова его познавательная роль в науке? В чем состоят специфические признаки этого метода? Как он влияет на организацию науки? Все это представляет большой интерес.

21.4. Естествознание и научно-техническая революция

*Наука необходима народу. Страна,
которая ее не развивает, неизбежно
превращается в колонию.*

Ф. Жолио-Кюри

Научно-техническая революция означает скачок в развитие производительных сил общества, переход их в качественно новое состояние на основе коренных сдвигов в системе научных знаний.

Когда говорят о научно-технической революции, в первую очередь подразумевают именно процесс интеграции науки и производства. Однако было бы неправильно все сводить только лишь к первой составляющей современной НТР.

Во-вторых, понятие "научно-техническая революция" включает в себя революцию в подготовке кадров и во всей системе образования. Новая технология требует нового работника — более культурного и образованного, гибко приспосабливающегося к техническим нововведениям, высоко дисциплинированного, имеющего к тому же навыки коллективного труда, что является характерной чертой новых технических систем.

В-третьих, важнейшей составляющей НТР является подлинная революция в организации производства и труда, в системе управления. Новой технике и технологии соответствует и новая организация производства и труда.

Современная научно-техническая революция (НТР) была подготовлена колоссальным развитием наук о природе и включает в себя это развитие. Исходным здесь явились научные достижения второй половины XIX в. При рассмотрении достижений естествознания XIX в. исследователи обычно обращают внимание на развитие физико-математических наук, на разработку математически "оформленных" научных теорий. И действительно, как отмечалось выше, успехи этих наук поразительны. Были созданы основы учения о тепловых процессах (термодинамика), об электричестве и электромагнитных процессах (электродинамика Максвелла), о строении вещества, о кристаллах. Физико-математические отрасли естествознания цементируют собой науки о природе. Они служат основой для создания новых технических устройств. В XIX в. особо впечатляющие успехи были достигнуты в этой области в результате овладения электричеством. Не менее важные открытия были сделаны и в химии, и в биологии. Достаточно упомянуть имена таких ученых, как К. Линней, Ч. Дарвин, Л. Пастер, Д. Менделеев и др., открытия которых в этих науках имели громадные практические последствия.

Начало научно-технической революции принято относить к середине 50-х гг. XX в. В этот период сделан ряд фундаментальных открытий в естественных науках и осуществлено их производственное применение. Это время овладения энергией атома, создания первых ЭВМ и квантовых генераторов, выпуска серии полимерных и других искусственных материалов, выход человека в космос.

В XX в. теоретическим ядром научно-технической революции становятся важнейшие достижения современного естествознания, в частности его пяти лидирующих наук: физики, химии, биологии, кибернетики, космологии. К их числу прежде всего относятся: 1) открытия физики твердого тела, ядра, элементарных частиц, плазмы; 2) глубокий анализ и синтез; 3) молекулярные основы наследственности и жизни, химическая природа нервных возбуждений; 4) математическая формализация процессов, информатизация, автоматизация и компьютеризация развивающихся систем; 5) теория познания и овладения космическими объектами.

Эти открытия есть революционный скачок в науке в целом, выражение более или менее комплексного освоения новых форм движения материи, атомно-молекулярных процессов во взаимосвязи с космосом. С названными достижениями связано развитие и других наук, в особенности технических: атомной энергетики, электроники, информатики, электрохимической, лазерной технологии и т. п.

На базе успехов в фундаментальных областях науки и происходит расцвет многих весьма разнообразных прикладных исследований и инженерных разработок. Опережающее развитие естествознания, его фундаментальных направлений является необходимой предпосылкой успешного развертывания НТР.

Сращивание новых индустриальных технологий микроэлектроникой и компьютерной техникой является одной из главных особенностей современного этапа научно-технической революции.

Еще одно важное свойство современных технологий — малоотходность и безотходность, что важно как для роста эффективности производства, так и для сохранения окружающей среды.

Глубокие перемены в энергетической базе производства связаны с освоением атомной энергии. За четверть века своего существования атомная энергетика достигла такого уровня, что успешно конкурирует с классическими способами получения энергии.

Основным направлением НТР в области технологии является переход от механической обработки материалов к использованию форм движения материи на молекулярном, атомном, субатомном уровнях, благодаря чему изменилась сама структура вещества. Речь идет о таких технологиях, как химическая, лазерная, прямое преобразование тепловой энергии в электронную, биотехнологическая и генная инженерия.

В современных условиях тема НТР весьма многогранна. И это совершенно естественно, поскольку на протяжении всей истории человечества перед ним никогда не открывались такие поистине фантастические возможности как для гигантского созидания, так и для столь же глобального разрушения. Атомная и термоядерная энергии, которые в обозримом будущем смогут обеспечить подлинное изобилие энергии, автоматизация и информатизация производства, коренным образом меняющиеся условия и характер труда людей, достижения современной химии, позволяющие создать неограниченное количество материалов с заранее заданными свойствами, процесс технологии, колоссальные возможности, открываемые кибернетикой, — характерные черты современной НТР. Выход человека в космос, широчайший комплекс новых средств охраны здоровья и продления жизни и, наконец, быстрорастущие средства воздействия на процессы органической жизни (на микромолекулярном уровне) — таков далеко не полный перечень созидательных возможностей, открываемых научно-технической революцией.

Вместе с тем она таит в себе и опасность для человечества. Атомное и термоядерное оружие, накопленные запасы которого в состоянии уничтожить все человечество и все живое на Земле,

средства биологической и бактериологической войны, глобальное засорение биосферы планеты, водного и воздушного ее бассейнов, опасности, которые таит в себе новое направление молекулярной биологии (так называемая генная инженерия), — таковы лишь некоторые подлинно апокалиптические характеристики разрушительных возможностей этой же революции.

Основой, исходной базой научно-технической революции является революция в естественных науках, начавшаяся в первой половине XX в. и продолжающаяся в настоящее время. Революция в естественных науках вызывает революционные по значению перевороты в технике и производстве, а в результате этих последних, в свою очередь, стимулируют и ускоряют процессы революции в естественных науках.

Современное развитие топливно-энергетического, сырьевого и перерабатывающего комплексов немыслимо без опоры на науку. Открытие и использование атомной (ядерной) энергии, изобретение транзисторов, электротехника и электроника, ЭВМ и многие другие новшества обязаны развитию научных исследований. Одним словом, современные преобразования в технике и технологии стали возможны лишь благодаря колоссальному развитию всего комплекса фундаментальных наук о природе — наук, исследующих принципы строения и эволюции материального мира.

XIX век подготовил величайшую революцию в физике, которая произошла на рубеже XX в.: был произведен успешный прорыв науки на глубинный уровень строения материи — на уровень микропроцессов, преобразовавший все физическое мышление, что явилось базой развития современной физики твердого тела, лежащей в основе развития электроники. Большинство современных технических наук были в свое время разделами физики. Прогресс физических наук оказывает непосредственное влияние на все основные элементы современного производства — на его энергетическую базу, на орудия труда и технологию; физика твердого тела оказывает все возрастающее влияние на предметы труда. Это особенно очевидно в современную эпоху,

когда на наших глазах происходит рождение атомной и ядерной энергетики, электронной и лазерной технологии, техники на полупроводниковых, микроэлектронных и интегральных схемах и т. п. Успехи физических наук послужили основой для создания и развития очень многих фундаментальных (особенно возникающих на стыке химических и физических, биологических и физических) наук и многих инженерных и научно-технических дисциплин. Так, например, исследование физических явлений в тонких полупроводниковых пленках стали основой работ получения интегральных, гибридных и функциональных схем, что непосредственно связано с процессами миниатюризации и микроминиатюризации электронных приборов и с созданием последних поколений ЭВМ.

С НТР связаны и успехи химической науки. Сейчас химия охватывает все новые и новые сферы органического и неорганического мира, проникает в области ряда смежных наук, формирует пограничные науки, обогащаясь методами и выводами этих наук. В условиях НТР появились новые направления химических наук:

- элементоорганическая химия, находящаяся на грани органической и неорганической химии. Развитие этого направления открыло возможности создания новых полимеров металлоорганических и кремнийорганических соединений с совершенно немыслимыми ранее свойствами, а также возможности внедрения новых неизмеримо более простых и экономичных технологических методов получения полимеров;

- химия комплексных соединений, позволяющая открыть многочисленный класс новых химических соединений. Она способствовала созданию промышленности драгоценных металлов и решению химических аспектов атомной энергии;

- физико-химическая механика, связывающая механические и электрические свойства вещества с его химическим составом и строением;

- биохимия, которая изучает структуру белка и белковых молекул, функции ферментов, исследует проблемы синтеза

белка в организме, зависимости между химическим строением и биологическими функциями белков. Она изучает такие важнейшие свойства и сложные процессы, как иммунитет и иммунные свойства белков;

- электрохимия — раздел физической химии, посвященный исследованию свойств систем, содержащих ионы, и процессов с участием ионов, протекающих на границах таких систем с другими телами, особенно металлами;

- радиохимия связана с решением проблем радиоактивности и радиоизотопов с использованием атомной энергии;

- геохимия, или химия Земли, которая в своих исследованиях вещества и процессов, происходящих на Земле, опирается на химические законы и методы;

- химическая кинетика — наука о химических превращениях, исследующих скорости и направления химических реакций. Она помогла созданию общей теории цепных процессов и открытию возможностей управления цепными химическими реакциями и т. д.;

- химическая физика дает возможность применения достижений современной физики к основным проблемам химии, а именно к вопросам строения атомов и молекул и к познанию механизма химических реакций.

НТР, успехи физических и химических наук оказали огромное воздействие на подлинную революцию в биологических науках. По определению президента Английского королевского общества, известного физика Блэккетта, "молекулярная биология в такой же мере революционировала науку о живом мире, как квантовая теория революционизировала ядерную физику". Интенсивный процесс изучения биологических функций живых существ исходя из анализа молекулярной структуры и молекулярных взаимодействий определил лидирующую роль биохимии и сравнительно новой науки — молекулярной биологии.

Проникая все глубже в тайны жизненных процессов, биологическая наука раскрывает и механизм использования генетической информации. Особенно интенсивно развиваются

молекулярно-биологические исследования, затрагивающие проблемы размножения, наследственности, строения и свойства высокомолекулярных соединений, их биосинтеза и закономерностей их воспроизведения (репродукции) в процессах роста, клеточного деления и развития. Основными объектами молекулярно-биологического изучения являются также такие высокомолекулярные биополимеры, как белки и нуклеиновые кислоты. Отсюда проникновение науки в субмикроскопическое строение клетки, которое принесло самые неожиданные находки, заставляющие радикально пересмотреть многие ранее сложившиеся представления о биохимических, биофизических и физико-химических основах клеточных процессов. Успехи клеточной инженерии позволяют ученым в настоящее время сохранить на длительный срок в соответствующей питательной среде соматические и половые (даже оплодотворенные) клетки умерших животных, в том числе и человека. Если перенести такую оплодотворенную в пробирке яйцеклетку или же соответствующий ей плод в матку матери-суррогата (этот прием получил название — клонирования), то можно осуществить полноценное вынашивание плода без особых физиологических проблем.

В этом плане немаловажное значение имеет теория информации, теория больших систем и системного анализа, теория управления и неразрывно с ним связанная кибернетика — наука об общих закономерностях процесса управления и передачи информации в машинах и живых организмах.

Таким образом, физика, биология, физиология, биохимия, биофизика, молекулярная биология, генетика, кибернетика и другие современные подразделения естественных наук "атакуют" и завоевывают все новые и новые позиции тайны познания бытия. Но уже сейчас очевидно, что как познавательные, так и практические возможности, которые откроются в связи с революцией в естественных науках, настолько грандиозны и широки по охвату, что они смогут стать отправной позицией для новой научно-технической революции.

21.5. Общие закономерности современного естествознания

Наука является основой всякого прогресса, облегчающего жизнь человечества и уменьшающего его страдания.

М. Склодовская-Кюри

Основные наиболее общие закономерности современного естествознания позволяют сделать следующие выводы:

1. Наука является одним из этапов эволюции человеческой культуры. Пройдя несколько предварительных стадий от античности до эпохи Возрождения, наука в своей развитой форме вобрала достижения других отраслей культуры, в том числе философии и религии, представляя собой в целом качественно новое явление.

2. Наука, с одной стороны, была средством нахождения истины о мире, а с другой — нацелена на обеспечение господства человека над природой и ее преобразование. Что же главное в развитии науки — понимание человеком себя, мира, окружающего его, или покорение природы? Этот вопрос становится все более актуальным.

3. Наука, объединившись с техникой, привела в XX в. к научно-технической революции, которая является главным фактором развития человечества. Однако слишком тесная взаимозависимость науки и техники вредна, так как у каждой из этих отраслей культуры есть специфика, заключающаяся в том, что наука изучает мир, а техника его преобразует.

4. В настоящее время общепринято деление наук на естественные, гуманитарные, математические и прикладные. Основные из естественных наук: астрономия, физика, химия, геология, физическая география, биология, физиология человека, антропология. Между ними немало переходных наук: астрофизика, физическая химия, химическая физика, геофизика, геохимия, биофизика, биохимия, биогеохимия и т. п., а также переходные от них к гуманитарным и прикладным наукам. Данная класси-

фикация не случайна. Предмет естественных наук составляют отдельные ступени развития природы или ее структурные уровни.

5. Хотя наука находится в процессе перманентного развития, предугадать, в каком направлении она будет продвигаться и какими будут следующие открытия, невозможно. Физики рассчитывали в 50-е гг. XX в. осуществить искусственную термоядерную реакцию и создать общую теорию поля. Однако прорыв был совершен в термодинамике открытых систем. Кибернетики думали, что будут создаваться все более сложные и громоздкие ЭВМ, а появился персональный компьютер. Наука есть создание качественно нового, а это невозможно предвидеть.

6. Область научного исследования постоянно расширяется, распространяясь на объекты, которые до этого находились вне сферы ее интересов (сложные, неустойчивые, открытые системы и т. п.). Тем не менее основные требования к научному исследованию — всеобщность опыта, универсальность объяснения — остаются в силе.

7. Существуют три механизма эволюции: диссипативные структуры в неживом мире, естественный отбор в живой природе, культура в человеческом обществе. Но наука не знает, как произойдет становление нового, поскольку это уникальный процесс. Наука достигает здесь своих пределов возможного, потому что имеет дело в основном с воспроизводимыми и повторяющимися процессами. Подходя к уникальному, она обращается к вероятностным методам. Наука вообще не может утверждать, что нечто обязательно случится, так как по современным научным представлениям эволюция мира не запрограммирована однозначно.

8. Наука ограничена возможностями человека и творчеством природы. Оставаясь принципиально ограниченной, она постоянно расширяет свои границы. Современная наука ограничена также экологически. Ее развитие может привести к уничтожению биосферы и ее самой. К эмпирической, теоретической и предметной ограниченности прибавилась ограниченность этического характера. Поэтому столь важной стала проблема этики в науке: наука — добро или зло?

21.6. Современная естественно-научная картина мира и Человек

*Знаний сердце мое никогда не чуждалось.
Мало тайн, мной не познанных,
в мире осталось.
Только знаю одно: ничего я не знаю —
Вот итог всех моих размышлений
под старость.*

О. Хайям

При смене картины мира пересматриваются основные вопросы мироздания, структура знаний и место науки в жизни общества. Среди естественных наук в течение двух столетий, несомненно, лидировала физика, исследовавшая явления неживой природы, для которых проще построить схему или модель и дать математическое описание. В конце XIX — первой половине XX в., когда результаты анализа и синтеза различных веществ существенно изменили жизнь общества, достойное место рядом с физикой заняла химия. Благодаря успехам физики и химии во второй половине XX в., положившим начало молекулярным исследованиям, произошел прорыв в биологии и медицине. Так, естествознание приближается к человеку, распространяя свои методы на экономику, гуманитарную сферу знаний и искусство. Экологические проблемы, вставшие перед земной цивилизацией, подтолкнули естествознание к непосредственному взаимодействию с техникой, технологией, экономикой, политикой.

Можно выделить следующие открытия в естествознании, которые привели к научным революциям в XX в.:

Астрономия: модель Большого взрыва и расширяющейся Вселенной.

- Геология: тектоника литосферных плит.
- Физика: взаимоотношения материи к энергии и вещества к полю. Теория относительности: относительность пространства и времени.
- Квантовая механика: корпускулярно-волновой дуализм.

- Синергетика: становление новых структур в неживой природе.

- Биология: модель происхождения жизни.
- Генетика: механизм воспроизводства жизни.
- Экология: взаимодействие живого со средой.
- Этология: формы поведения организмов.

- Кибернетика: управление в неживой и живой природе.

Эти научные революции позволили сформулировать следующие общие закономерности развития мира:

1. Эволюция природы.
2. Самоорганизация (от неживых систем до биосферы).
3. Системность связи неживой природы, живой природы и человека (в экологии).
4. Имманентность природных систем пространству и времени (в теории относительности).
5. Относительность разделения на субъект и объект (в квантовой механике и синергетике).

Появились новые общенаучные концепции и подходы: системный (исследование предметов как систем), структурный (исследование уровней организации), вероятностный (применение вероятностных методов) и т. п.

Научные достижения XX в. позволили нарисовать следующую современную естественно-научную картину мира (табл. 21.1).

Можно построить и более подробную картину, выделив такие уровни организации, как ядро атома, ядро клетки, макромолекула, кристалл, человек, ноосфера и другие уровни объектов.

Имеется огромное количество фундаментальных проблем в естественных и в социальных науках, которые очень далеки от решения, а в процессе их решения наверняка возникнет еще большее количество новых, более глубоких проблем. Приведем примеры нескольких таких неразрешенных в настоящее время проблем в области естественных наук:

- единая теория гравитации и релятивистской квантовой механики;
- теория элементарных частиц;

Таблица 21.1

Научная картина мира

Уровни организации	Часть пространства	Наука	Вид эволюции
Вселенная	Мегамир	Космология	Космическая
Метагалактика	- " -	Астрономия	
Галактика	- " -		
Звезды		- " -	
Планеты	- " -	Геология	Геологическая
Биосфера	Макромир	Экология	Экологическая
Сообщество	- " -	Этология	Биологическая
Популяция	- " -	- " -	- " -
Вид			
Индивид	- " -	- " -	- " -
Вещество	- " -		
Клетка	Микромир	Генетика	
Молекула	- " -	Химия	Химическая
Атом		Физика	Физическая
Элементарная частица	- .. -	- " -	
Кварк	- " -		- .. -
Вакуум		- " -	- " -

- теория, объясняющая численное значение фундаменталь-ных физических постоянных;
- вопрос о конечности или бесконечном многообразии фундаментальных законов для микромира;
- теория, объясняющая численное значение скорости расширения Вселенной, ее среднюю плотность, энтропию;
- теория, объясняющая, что происходит внутри черной дыры с точки зрения "падающего" в нее наблюдателя;
- есть ли, кроме наблюдаемых микро-, макро- и мегамиров еще и другие миры;
- конечно ли количество фундаментальных законов о макромире;
- теория происхождения жизни на Земле и формы возникновения жизни в других областях Вселенной;
- теория деятельности мозга человека и животных.

21.7. Особенности в развитии современной науки

Наука не открывается каждому без усилий. Подавляющее число людей не имеет о науке никакого понятия. Она доступна лишь немногим.

К. Ясперс

Основной структурой познания в наиболее развитых отраслях естествознания является анализ предмета исследования, выражение абстрактных элементарных объектов и последующий логический синтез из них единого целого в виде теоретической модели.

Два обстоятельства затрудняют понимание обществом современного естествознания. Во-первых, применение сложнейшего математического аппарата, который надо предварительно изучить. Во-вторых, невозможность создать наглядную модель современных научных представлений: искривленное пространство; частицу, одновременно являющуюся частицей и волной, и т. д. Выход из ситуации прост — не надо и пытаться это сделать. Естествознание XX в. заставляет нас отказаться не только от непосредственной наглядности, но и от наглядности как таковой. Отказ от наглядности научных представлений является неизбежной платой за переход к исследованию более глубоких уровней реальности, не соответствующих эволюционно выработанным механизмам человеческого восприятия.

Фундаментальной особенностью структуры научной деятельности является разделенность науки на относительно обособленные друг от друга дисциплины. Это имеет свою положительную сторону, поскольку дает возможность детально изучить отдельные фрагменты реальности, но при этом упускаются из виду связи между ними, а в природе все между собой взаимосвязано и взаимообусловлено. Разобщенность наук особенно мешает сейчас, когда выявилась необходимость комплексных интегративных исследований окружающей среды. Природа едина. Единой должна быть и наука, которая изучает все явления природы.

Еще одна фундаментальная черта науки — стремление абстрагироваться от человека, стать максимально обезличенной. Эта в свое время положительная особенность науки делает ее ныне неадекватной реальности и ответственной за экологические трудности, поскольку человек является самым мощным фактором изменения действительности.

В дополнение к отмеченному выше: преобладанию анализа в науке, ее обезличенности, абстрагирующего характера, чрезмерной специализации, дисгармоничности в развитии ее отдельных частей, выходы за рамки наглядности и в ту область, где все решается не объективными законами, а случайностью и свободной волей — можно добавить упрек в том, что наука и техника способствуют социальному угнетению, в связи с этим раздаются призывы об отделении науки от государства.

К парадоксам развития науки относится то, что наука, с одной стороны, сообщает объективную информацию о мире и в то же время уничтожает ее (при различных экспериментах) или что-либо уничтожается на основе научной информации (вида жизни, невозпроизводимые ресурсы).

Но главное, наука теряет надежду сделать людей счастливыми и дать им истину.

Наука не только изучает развитие мира, но и сама является процессом, фактором и результатом эволюции, при этом она должна находиться в гармонии с эволюцией мира. Должен образоваться контур обратной связи между наукой и другими сторонами жизни, который регулировал бы развитие науки. Увеличение разнообразия науки должно сопровождаться интеграцией и ростом упорядоченности, а это и называется становлением науки на уровень целостной интегративно-разнообразной гармоничной системы.

В современном мировоззрении сформировались две ориентации на отношение к науке и научно-технической революции.

Первая ориентация, которая получила название сциентизма (от лат. *scientia* — наука). Именно в наше время, когда роль науки поистине огромна, появился сциентизм, связанный с представлением о науке, особенно естествознании, как высшей, если не

абсолютной ценности. Эта научная идеология заявила, что лишь наука способна решить все проблемы, стоящие перед человечеством, включая и бессмертие. В рамках сциентизма наука рассматривается как единственная в будущем сфера духовной культуры, которая поглотит ее нерациональные области.

В противоположность этому направлению также громко заявил о себе во второй половине XX в. антисциентизм, который обрекает науку либо на вымирание, либо на вечное противопоставление природе. Антисциентизм исходит из положения о принципиальной ограниченности возможностей науки в решении коренных человеческих проблем, а в своих проявлениях оценивает науку как враждебную человеку силу, отказывая ей в положительном влиянии на культуру. Она утверждает, что хотя наука и повышает благосостояние населения, но она же увеличивает опасность гибели человечества и Земли от ядерного оружия и загрязнения природной среды.

Естествознание является продуктом цивилизации и условием ее развития. С помощью науки человек развивает материальное производство, совершенствует общественные отношения, образует и воспитывает новые поколения людей, лечит свое тело. Прогресс естествознания и техники значительно изменяет образ жизни и благосостояние человека, совершенствует условия быта людей.

Естествознание — один из важнейших двигателей общественного прогресса. Как важнейший фактор материального производства, естествознание выступает мощной революционизирующей силой. Великие научные открытия (и тесно связанные с ними технические изобретения) всегда оказывали колоссальное (и подчас совершенно неожиданное) воздействие на судьбы человеческой истории. Такими открытиями были, например, открытия в XVII в. законов механики, позволившие создать всю машинную технологию цивилизации; открытие в XIX в. электромагнитного поля и создание электротехники, радиотехники, а затем и радиоэлектроники; создание в XX в. теории атомного ядра, а вслед за ней — открытие средств высвобождения ядерной энергии; раскрытие в середине XX в. молекулярной биологией

природы наследственности (структуры ДНК) и открывшиеся вслед возможности генной инженерии по управлению наследственностью и др. Большая часть современной материальной цивилизации невозможна без участия в ее создании научных теорий, научно-конструкторских разработок, предсказанных наукой технологий и др.

В современном мире наука вызывает у людей не только восхищение, но и опасения. Часто можно услышать, что наука приносит человеку не только блага, но и величайшие несчастья. Загрязнения атмосферы, катастрофы на атомных станциях, повышение радиоактивного фона в результате испытаний ядерного оружия, озоновая дыра над планетой, резкое сокращение видов растений и животных — все эти и другие экологические проблемы люди склонны объяснять самым фактом существования науки. Но дело не в науке, а в том, в чьих руках она находится, какие социальные интересы за ней стоят, какие общественные и государственные структуры направляют ее развитие.

Наука — это сложный социальный институт, и он теснейшим образом связан с развитием всего общества. Сложность, противоречивость современной ситуации в том, что наука, безусловно, причастна к порождению глобальных и прежде всего экологических проблем цивилизации (не сама по себе, а как зависимая от других структур часть общества); и в то же время без науки, без дальнейшего ее развития решение всех этих проблем в принципе невозможно. И это значит, что роль науки в истории человечества постоянно возрастает. И поэтому всякое умаление роли науки, естествознания в настоящее время чрезвычайно опасно, оно обезоруживает человечество перед нарастанием глобальных проблем современности. А такое умаление, к сожалению, имеет подчас место, оно представлено определенными умонастроениями, тенденциями в системе духовной культуры.

ВЫВОДЫ

1. Наука является одним из этапов эволюции человеческой культуры. Ныне научно-техническая революция является главным фактором развития человечества.

2. В настоящее время общепринято деление наук на естественные, гуманитарные, математические и прикладные. Предмет естественных наук составляют отдельные ступени развития природы или ее структурные уровни.

3. Существуют три механизма эволюции: диссипативные структуры в неживом мире, естественный отбор и борьба за существование в живой природе, развития культуры в человеческом обществе. Но наука не знает, как произойдет становление нового, поскольку это уникальный, неизведанный процесс.

4. Классическое естествознание уделяло внимание понятиям, характеризующим замкнутые системы и линейные соотношения. Современная наука, признавая правомерность изученных ранее моделей, перешла к исследованию открытых систем, которые обмениваются с окружением энергией, веществом, информацией. Такие системы, более распространенные в природе, характеризуются разнообразием, неустойчивостью, нелинейными соотношениями.

5. Наука ограничена с четырех сторон. К эмпирической, теоретической и предметной ограниченности прибавилось ограничение экологического характера. Развитие науки может привести к уничтожению биосферы и ее самой.

6. Появились новые общенаучные концепции и подходы: системный, структурный, вероятностный, синергетический и т. п.

7. Научные достижения XX в. позволяют структурно разделить естественно-научную картину мира на микромир, макромир и мегамир.

8. Внутренняя целостность естествознания и его связь с гуманитарными, техническими и экономическими науками должна быть прочной и гибкой. Социальные системы сегодня возможно описать сложившимися в естествознании языком и понятиями. Ценность науки должна определяться гибкостью ее функционирования как единой системы. Единство естествознания и стремление к нему открывают новые возможности познания мира и самого человека.

вопросы для контроля знаний

1. Каковы общие закономерности современного естествознания?
2. В чем состоит научно-техническая революция?
3. Какова современная классификация естественных наук?
4. Какие три механизма эволюции окружающего мира вы знаете?
5. Каковы основные ограничения в развитии современной науки?
6. Какие открытия в естествознании XX в. привели к научным революциям?
7. Каковы основные закономерности развития мира?
8. Какие общенаучные концепции и подходы появились в XX в.?
9. Какую естественно-научную картину мира представляет современная наука?
10. Какие трудности и парадоксы, наблюдаются в развитии современной науки?
11. Какие основные этапы можно выделить в развитии науки?
12. Когда и при каких обстоятельствах возникает наука?
13. Что такое научная революция? Какие научные революции в истории общества вам известны?
14. Каковы сущность и основные особенности научно-технической революции?
15. Каковы особенности развития науки в XX в.?
16. Что такое научная революция?
17. Какие научные революции в истории общества вам известны?
18. Какие основные этапы, можно выделить в развитии науки?
19. Когда и при каких обстоятельствах возникает наука?
20. Каково мировоззрение сциентизма и антисциентизма?

Литература

Основная

1. Горелов А. А. Концепции современного естествознания. — М.: Центр, 1997.
2. Гусейханов М. К., Раджабов О. Р. Концепции современного естествознания. — М.: ИТК «Дашков и К^о», 2005.
3. Гусейханов М. К., Раджабов О. Р. Практикум по курсу "Концепции современного естествознания". — Махачкала: Юпитер, 2000.
4. Дубнищева Т. Я. Концепции современного естествознания. — Новосибирск: ЮКЭЛ, 1997.
5. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания. — М.: ЮНИТИ, 1997.
6. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания. Практикум. — М.: ЮНИТИ, 1998.
7. Карпенков С. Х. Основные концепции естествознания. — М.: ЮНИТИ, 1998.
8. Концепции современного естествознания / Под рук. С. А. Самыгина. — Ростов н/Д: Феникс, 1997.
9. Концепции современного естествознания / Под ред. В. Н. Лавриненко, В. П. Ратникова. — М.: ЮНИТИ, 1997.
10. Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания — М.: ЮНИТИ, 1997.

Дополнительная

1. Абдулкадыров Ю. Н. Концепции современного естествознания. — Махачкала, 1996.
2. Амбарцумян В. А. Загадки Вселенной. — М.: Педагогика, 1987.
3. Аминьева Т. П., Сарычева Л. Н. Фундаментальные взаимодействия и космические лучи. — М.: Эдиториал УРСС, 2001.
4. Аришинов В. И., Буданов В. Г., Суханов А. Д. Естественно-научное образование гуманитариев: на пути к единой культуре // Общественные науки и современность. 1994. № 5. С. 113.

5. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. — М.: Наука, 1977.
6. Бронштейн В. А. Планеты и их наблюдение. — М.: Наука, 1984.
7. Вайскопф В. Наука и удивительное (как человек понимает природу). — М.: Наука, 1965.
8. Вернадский В. И. Биосфера. — М., 1967.
9. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. — М.: Наука, 1995.
10. Винер Н. Кибернетика. — М., 1968.
11. Вселенная, астрономия, философия. — М.: Изд-во МГУ, 1988.
12. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. — М.: 1989.
13. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Наука, 1980.
14. Горстко А. Б. Познайтесь с математическим моделированием. — М.: Знание, 1991.
15. Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. — М.: АСТ, 2006.
16. Гусейнов Р. М., Исмаилов И. Ш. Концепции современного естествознания. — Махачкала: Юпитер, 1998.
17. Гусейханов М. К., Раджабов У. А. Рациональное и религиозное в космологических концепциях. — Махачкала, 1996.
18. Дагаев М. М., Демин В. Г., Климишин И. А., Чаругин В. М. Астрономия. — М.: Просвещение, 1983.
19. Дагаев М. М., Чаругин В. М. Астрофизика. — М.: Просвещение, 1988.
20. Данин Д. С. Вероятностный мир. — М.: Знание, 1981.
21. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX века до середины XX века. — М.: Наука, 1979.
22. Евсюков В. В. Мифы о мироздании. — М.: Политиздат, 1986.
23. Ефремов Ю. Н. В глубине Вселенной. — М.: Наука, 1977.
24. Зельдович Я. Б., Хлопов М. Ю. Драма идей в познании природы. — М.: Наука, 1988.
25. Иванов Б. Н. Законы физики — М.: Высшая школа, 1986.
26. Казначеев В. П. Очерки теории и практики экологии человека. — М., 1983.
27. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. — М.: Наука, 1974.

28. *Капица С. П., Курдюмов С. П., Миленецкий Г. Г.* Синергетика и прогнозы будущего. — М.: Эдиториал УРСС, 2001.
29. *Кипра Ф.* Дао физики. — СПб.: Орис, 1994.
30. *Карапетьянци М. Х., Дракин С. И.* Строение вещества. — М.: Высшая школа, 1970.
31. *Кемпфер Ф.* Путь в современную физику. — М.: Мир, 1972.
32. *Кендрию Дж.* Нить жизни. — М., 1968.
33. *Клейн М.* В поисках истины. — М.: Мир, 1987.
34. *Климишин И. А.* Астрономия наших дней. — М.: Наука, 1986.
35. *Климишин И. А.* Открытие Вселенной. — М.: Наука, 1987.
36. *Князева Е. Н., Курдюмов С. П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. — М.: Наука, 1994.
37. *Колтун М.* Мир физики. — М.: Детская литература, 1984.
38. Концепции самоорганизации: становление нового образа научного мышления. — М.: Наука, 1994.
39. Краткий миг торжества. — М., 1989.
40. *Круть И. В.* Введение в общую теорию Земли. — М., 1978.
41. *Кузнецов Б. Г.* Пути физической мысли. — М.: Наука, 1968.
42. *Кун Т.* Структура научных революций. — М., 1975.
43. *Левитан Е. П.* Астрономия. — М.: Просвещение, 1994.
44. *Линднер Г.* Картины современной физики. — М.: Мир, 1977.
45. *Лоренц К.* Агрессия. — М., 1994.
46. *Медников Б. М.* Дарвинизм в XX веке. — М., 1975.
47. *Менделеев Д. И.* Основы химии. — М.: Гостехиздат, 1947. Т. 1.
48. *Мечников Л. И.* Цивилизация и великие исторические реки. — М., 1995.
49. *Мухин К. Н.* Занимательная ядерная физика. — М., 1969.
50. *Мухин Л. М.* Мир астрономии. — М., 1987.
51. *Мэрион Дж. Б.* Физика и физический мир. — М.: Мир, 1975.
52. *Назаретян А. П.* Интеллект во Вселенной. — М.: Недра, 1990.
53. *Небел Б.* Наука об окружающей среде. Как устроен мир. — М.: Мир, 1993.
54. *Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного. — М.: Мир, 1990.
55. *Николис И. Д., Пригожин И.* Познание сложного. — М.: Мир, 1990.
56. *Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1983.
57. *Омаров О. А., Гусейханов М. К.* История и методология физики. — М.: Эко, 2005.

58. *Поппер К.* Логика и рост научного знания. — М., 1983.
59. *Поршнев Б. Ф.* О начале человеческой истории. — М., 1974.
60. *Пригожий И.* От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1986.
61. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос и квант. — М.: Прогресс, 1994.
62. Проблемы поиска жизни во Вселенной. — М.: Наука, 1986.
63. *Пуанкаре А.* О науке. — М., 1983.
64. *Раджабов О. Р., Гусейханов М. К.* Вселенная: происхождение и эволюция мира. — Махачкала, 1997.
65. *Раджабов О. Р., Гусейханов М. К.* Концепция современного естествознания. — Махачкала: Юпитер, 1997.
66. *Савенков В. Я.* Новые представления о возникновении жизни на Земле. — Киев: Віці. школа, 1991.
67. *Сарданишвили Г. А.* Современные методы теории поля. Т. 1 -4. — Эдиториал УРСС, 2001.
68. *Сафаралиев Г. К., Гусейханов М. К.* Современная естественно-научная картина мира. — Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2001.
69. *Селье Г.* От мечты к открытию. — М., 1987.
70. *Сетров М. И.* Организация биосистем. — М., 1971.
71. *Сноу И.* Две культуры. — М., 1973.
72. *Спасский Б. И.* Физика для философов. — М.: МГУ, 1989.
73. *Спиридонов О. П.* Фундаментальные физические постоянные. — М.: Высшая школа, 1991.
74. *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. — М.: Высшая школа, 1992.
75. *Тарасов Л. В.* Современная физика в средней школе. — М.: Просвещение, 1990.
76. *Тейяр де Шарден.* Феномен человека. — М., 1973.
77. *Тинберген Н.* Социальное поведение животных. — М., 1992.
78. *Турсунов А.* Беседы о Вселенной. — М.: Политиздат, 1984.
79. *Турсунов А.* Человек и мироздание. — М.: Советская Россия, 1986.
80. *Уилл Ф. О.* Семья Солнца. — М.: Мир, 1984.
81. *Фаталиев Х. М.* Диалектический материализм и вопросы естествознания. — М.: Советская наука, 1958.
82. *Фейнберг Е. А.* Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. — М.: Наука, 1992.
83. Философские проблемы астрономии XX века. — М., 1976.

84. Философские проблемы естествознания. — М.: Высшая школа, 1995.
85. Фолт Я., Нова Л. История естествознания в датах. — М.: Мир, 1987.
86. Фрейд З. Психология бессознательного. — М., 1989.
87. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. — М.: Наука, 1976.
88. Шарден П. Т. Феномен человека. — М.: Прогресс, 1987.
89. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. — М., Наука, 1977.
90. Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь, смерть. — М.: Наука, 1984.
91. Шкловский И. С. Проблемы современной астрофизики. — М.: Наука, 1982.
92. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики. — М.: Атомиздат, 1972.
93. Эбелинг В., Энтель А., Файствен Г. Физика процессов эволюции. Синергетический подход. — М.: Эдиториал УРСС, 2001.
94. Эйнштейн А. Инфельд Л. Эволюция физики. — М., 1965.
95. Энгельс Ф. Полное собрание сочинений. Т. 24.
96. Эрден-Груа Т. Основы строения материи. — М.: Мир, 1976.
97. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. — М., 1959.
98. Эшби У. Р. Конструкция мозга. — М., 1964.
99. Юнг К. Архидея и символ. — М., 1971.
100. Яблоков А. В., Юсуфов А. Г. Эволюционное учение. — М.: Высшая школа, 1988.

Главный редактор — *А. Е. Илларионова*
Художник — *В. А. Антипов*
Верстка — *А. А. Толли*
Корректор — *Г. М. Мубаракишина*

Ответственный за выпуск — *С. А. Булатова*

Книга издана в авторской редакции

М. К. Гусейханов, О. Р. Раджабов

Концепции современного естествознания

Учебник

Санитарно-эпидемиологическое заключение №
77.99.02.953.Д.004609.07.04 от 13.07.2004 г.

Лицензия № 06473 от 19 декабря 2001 г.
Подписано в печать 26.02.2007. Формат 60х84 1/16.
Печать офсетная. Бумага газетная. Печ. л. 33,75.
Тираж 2500 экз. (1-й завод 1-700 экз.)
Заказ № 4550.

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^с» 129347,
Москва, Ярославское шоссе, д. 142, к. 732.
Для писем: 129347, Москва, п/о И-347
Тел./факс: (495) 182-01-58, 182-11-79, 183-93-01
Е-mail: sales@dashkov.ru — отдел продаж
office@dashkov.ru — офис;
[http: // www.da'shkov.ru](http://www.da'shkov.ru)

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных диапозитивов
в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНТИ»,
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403. Тел.: 554-21-86

