

М.Д. Гольдфейн, С.Б. Егорова, В.В. Решетников

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Под редакцией доктора химических наук, профессора *М.Д. Гольдфейна*

Саратов

2015

УДК 504(075)

ББК 20я73

Г63

Гольдфейн М.Д.

Концепции современного естествознания [Текст] : учебник / М.Д. Гольдфейн, С.Б. Егорова, В.В. Решетников ; под ред. М.Д. Гольдфейна. – Саратов : Поволжский институт управления им. П.А. Столыпина, 2015. – с.

ISBN

В учебнике отражены как общие, так и конкретные представления о становлении современного естествознания, изложены основные проблемы, характерные для развития естественных наук, рассмотрены интегративно-общенаучные тенденции, в которых наибольшее значение имеет естественно-научное знание, в особенности при решении глобальных общечеловеческих проблем и переходе мирового сообщества к устойчивому развитию. Издание подготовлено в соответствии с Государственным стандартом высшего профессионального образования.

Для студентов и аспирантов высших учебных заведений, изучающих гуманитарные и общественные дисциплины.

Рецензенты:

© Гольдфейн М.Д., Егорова С.Б., Решетников В.В., 2015

© Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина, 2015

Оглавление

Введение	7
1. ЗНАНИЕ И НАУКА.....	11
1.1. Наука как процесс познания.....	11
1.2. Естествознание в современном мире	16
1.3. Структура естественнонаучного познания, его основные формы и методы	18
1.4. Основные принципы фундаментальных и прикладных наук.....	23
1.5. Взаимосвязь между естественнонаучным	27
и гуманитарным знаниями	27
2. РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ: ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ	41
3. КОНЦЕПЦИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В ФИЗИКЕ.....	52
3.1. Понятие материи. Структурные уровни организации материи.....	52
3.2. Предмет физических наук	54
3.3. Натурфилософская картина мира	56
3.4. Механистическая картина мира	60
3.5. Электромагнитная картина мира.....	65
3.6. Основные достижения классической науки.	67
3.7. Формирование неклассической науки.	73
3.8. Концепция корпускулярно-континуальных (непрерывно-дискретных) свойств материи	75
3.9. Основные типы фундаментальных взаимодействий в природе.....	80
3.10. Элементарные частицы, их свойства и характеристики	84
3.11. Основы теории относительности.....	90
3.12. Явления сверхтекучести и сверхпроводимости.....	95
4. КОНЦЕПЦИИ ТЕРМОДИНАМИКИ В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ	99
4.1. Общие положения	99
4.2. Основные положения классической термодинамики.....	101
4.3. Особенности неклассической термодинамики	106
4.4. Термодинамическая теория эволюции живых систем.	108
5. КОНЦЕПЦИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В КОСМОЛОГИИ	113
5.1. Происхождение Вселенной и ее структура	113
5.2. Характеристики Солнечной системы.....	119
5.3. Основные характеристики Земли и модели ее строения	121
5.4. Геологическая эволюция Земли	135
5.5. Космологические характеристики Луны	137
5.6. Человек и космос	144
5.7. Универсальная эволюция и темная материя	156
6. РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ	179
6.1. Основные понятия химии.....	179
6.2. Важнейшие задачи химии. Основы химических наук	182
6.3. Концепции современной химии	185
6.4. Некоторые особенности строения и свойств высокомолекулярных соединений, термодинамики и кинетики процессов образования	194
7. КОНЦЕПЦИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В БИОЛОГИИ.....	201
7.1. Общие свойства живых организмов. Основные задачи современной биологии.....	201
7.2. Структурные уровни организации живой материи	203
7.3. Концепция эволюции живой природы.....	208
7.4. Концепция биополимеров	213
7.5. Концепции происхождения жизни на Земле.....	223
8. НЕКОТОРЫЕ КОНЦЕПЦИИ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ.....	228

8.1. Определение и основные задачи экологии.....	228
8.2. Основные законы, принципы и правила общей экологии	229
8.3. Трофические цепи и уровни.....	239
8.4. Экология популяций и видов.....	242
8.5. Биосфера как глобальная система	247
8.6. Система «человек – биосфера» и процессы глобализации.....	261
8.7. Полимеры и среда обитания человека	265
8.8. Концепция устойчивого развития	272
9. НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ...	279
9.1. Экологизация науки: междисциплинарные взаимодействия	279
9.2. Синергетика как новое междисциплинарное научное направление.....	287
9.3. Концепция универсального эволюционализма.....	296
9.4. Фундаментальная роль и практическое значение информации в природе и обществе	304
Библиографический список	319
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ</i>	327

Предисловие

Единство научных понятий и научного языка обусловлено тем обстоятельством, что они создаются лучшими умами всех времен и народов.

А. Эйнштейн

Естествознание как совокупность научных знаний о природных объектах, явлениях и процессах на протяжении нескольких тысячелетий выполняет исключительную роль в развитии человечества и его культуры. Одной из важнейших функций естествознания является сближение мировоззренческих и методологических позиций людей совершенно разных специальностей и профессий. Поскольку окружающая человека природная среда обладает многообразием уровней ее свойств и организации, то ее глубокое изучение возможно только при использовании междисциплинарного подхода, при сочетании знаний различных разделов математики, физики, химии, биологии, астрономии, геологии, географии и других смежных наук. Однако, как правило, естествоиспытатели имеют определенные понятия об особенностях функционирования природных систем, тогда как представители гуманитарных и социальных наук довольствуются достаточно ограниченной естественнонаучной картиной мира. В связи с этим российские вузы включают в учебные планы гуманитарных специальностей дисциплину «Концепции современного естествознания» в качестве обязательного или вариативного компонента.

Курс лекций по этой дисциплине включает два главных взаимосвязанных и взаимозависимых аспекта. Во-первых, он требует закрепления знаний, полученных в средней школе в области физики, химии, биологии и других естественных наук. При этом имеется в виду не простое повторение, а рассмотрение тех или иных теорий и законов с концептуальных позиций, то есть как системы определенных взглядов и представлений на строение, структуру, свой-

ства и функции природных и искусственных материальных объектов, явлений и процессов.

Во-вторых, курс базируется на изучении объективно существующей материи в процессе ее развития на разных исторических этапах. Таким образом, основной целью данного курса является не только расширение кругозора, а формирование естественнонаучного мировоззрения студентов высших учебных заведений, приобретающих специальность или степень бакалавра по гуманитарным и социальным направлениям подготовки.

Этим обусловлено содержание настоящего учебника, которое отражает основополагающие представления об окружающем мире, в частности раскрывает такие темы, как взаимоотношение естественнонаучной и гуманитарной культур (в том числе пути их сближения), методология и принципы естественнонаучного познания, интеграция науки и образования, особенности важнейших этапов развития естествознания, специфика процесса математизации науки, важнейшие концепции современной физики, химии, биологии и экологии. Особое место занимает обсуждение проблем космологии, освещаются вопросы, связанные с местом человека в биосфере, концепции универсального эволюционизма и глобализации науки и техники, показывается значение процессов информатизации общества и многое другое. Несомненный интерес для студентов-гуманитариев должен представлять раздел «Приложения», включающий сведения о лауреатах Нобелевских премий в различных областях науки.

Знакомство и усвоение фундаментальных проблем современного естествознания, рассмотренных в данном учебнике, поможет студентам-гуманитариям более свободно и целенаправленно ориентироваться в окружающем их мире.

Введение

История развития науки, философии и религии связана с проблемой соотношения естественнонаучной и гуманитарной культур человечества. В последние десятилетия в связи с новыми общенаучными взглядами на системный анализ, на процессы самоорганизации и механизмы эволюционных процессов в неживой и живой природе естественнонаучная и гуманитарная культуры стали сближаться. Так, во многих областях социальной и духовной жизни уже используются теоретические и практические методы естественных наук, такие как математическое и физическое моделирование, новые информационные технологии, теория самоорганизации и другие. Все это обуславливает необходимость формирования более широкого научного мировоззрения и повышения уровня культуры мышления.

Вместе с тем сложившиеся формы развития науки во все большей мере вызывают обеспокоенность общественного мнения за результаты и перспективы реализации научных открытий. Наука оказалась ответственной как за рост материальных и духовных благ современных обитателей планеты, так и за сползание к глобальной катастрофе, которая может произойти уже в XXI в. Это создает реальную угрозу для экономики, политики, экологии, обороноспособности, всего общественного развития. Необходимо сохранить научный потенциал, его способность воздействовать на технику, технологию, образование, другие сферы социальной деятельности. Однако для того, чтобы вернуть себе утраченный престиж в обществе, наука должна существенно измениться, переориентировав свое развитие на цели выживания и дальнейшего устойчивого развития человечества. Выход из системного кризиса видится в том, чтобы наука работала в рамках не индустриально-потребительских ценностей, губящих человека и природу, а ценностей будущего «устойчивого общества» – сферы разума, формирование которой предсказал еще академик В.И. Вернадский. Именно с наукой нового типа («ноосферно-устойчивой наукой») связывается преодоление возникающих противоречий в системе «человек – общество – био-

сфера», создание позитивных научных предпосылок для выживания цивилизации в XXI в. и в перспективе третьего тысячелетия.

Главная цель дисциплины «Концепции современного естествознания» – формирование у студентов наиболее полной естественнонаучной картины мира. В соответствии с этой целью определены основные задачи курса: раскрыть суть и специфику основных принципов исследования, применяемых в современном естествознании, и их значение для гуманитарных исследований; сформировать представления о наиболее важных исторических этапах развития разных областей естествознания, методах естественнонаучных исследований, общих научно-философских концепциях, фундаментальных законах природы, единстве неживой и живой природы, а также о совершенствовании процесса познания реального Мира, состоящего в объективной и закономерной смене мировоззрений.

Для будущих специалистов социально-гуманитарной сферы, особенно в области государственного управления и управления социальными системами важно понять не просто суть концепций современного естествознания, но и связь их с культурой, политикой, экономикой, религией. Взаимовлияние это в наши дни усиливается. Поэтому важно осознавать роль интегративно-общенаучных принципов творческого поиска, синтеза научных знаний в ходе решения комплексных и особенно глобальных проблем. Современное естествознание представляется уже не как нечто далекое от социально-гуманитарного знания, а как значимая для него составная часть целостной науки.

До недавнего времени изучение гуманитарных аспектов человеческого бытия было фактически оторвано от природных, и результаты таких исследований стали противоречить естественным процессам и циклам биосферы. С другой стороны, некоторые достижения естественной науки без оглядки на духовные и нравственные аспекты бытия обернулись угрозой гуманитарных катастроф. Такие «ошибки», игнорирующие сущностные связи человека и природы, весьма дорого нам обошлись.

Представления о вечном существовании человечества на Земле сформирова-

ровала потребительская установка, что все в природе «для человека, во имя его блага», пока практика не стала опровергать ее быстро надвигающимся глобальным экологическим кризисом. Это был кризис не только «антропошовинистского» видения истории, но и идеи прогресса, под которую «подгонялся» цивилизационный процесс. Наука фактически может оказаться без предмета своего исследования просто потому, что уже в течение нескольких десятилетий весьма вероятно наступление планетарной антропоэкологической катастрофы, которая может обернуться омницидом, то есть гибелью не только разумных существ, но и всего живого на планете. Традиционный подход оказался ограничен моделью неустойчивого развития с ее пространственно-временными пределами, а потому принципиально бесперспективным.

Особенностью настоящего учебника является рассмотрение концепций современного естествознания не просто в «социоприродной системе координат», а в ракурсе перспектив перехода к устойчивому развитию. Модель устойчивого развития требует формирования такой социоприродной системы («человечество – природа»), которая могла бы сохранить свои взаимодействующие компоненты – цивилизацию и биосферу – как можно дольше. С этой позиции в учебнике особо выделены те научные концепции, которые способствовали бы наиболее эффективному движению человечества к целям устойчивого развития.

Схема построения курса выгодно отличается от известных учебников для вузов, поскольку с самого начала нацелена на формирование не только «естественнонаучного мировоззрения», а более широкой «социоприродной картины мира», где концепции естествознания «вплетены» в концепцию цивилизационного развития.

Наука, ориентируясь на новые цивилизационные цели, все больше интересуется исследованием будущего, и в перспективе будет происходить процесс «футуризации» научно-исследовательской деятельности, использования ее результатов в практике и особенно в образовании.

Качественные изменения в науке, частая смена парадигм ставят новые проблемы перед исследователями, занимающимися методическими и социаль-

но-философскими проблемами образования и воспитания, поскольку систематически возрастающий объем научного знания трудно уложить в принятые стандарты времени. При этом не всегда ясно, что из достижений науки и каким образом включить в функционирующие образовательные программы. Поэтому между образованием и наукой существует диалектическая связь: с одной стороны, образование зависит от науки, поскольку наука выступает продуцентом и аккумулятором транслируемых знаний; с другой стороны, образование первично по отношению к науке, потому что усваиваемые в процессе образования знания выступают основой новых научных результатов.

Создание единой опережающей системы «наука – образование» требует кардинальных изменений в ролевых отношениях ученого и педагога в том смысле, что ученый должен стать педагогом, а педагог – ученым. Это значит, что перед образовательными учреждениями активнее ставятся научно-исследовательские задачи, а научно-исследовательские организации все больше привлекаются для выполнения образовательной функции, которая до сих пор реализовалась лишь на уровне отдельных членов научных коллективов. Производство новых научных знаний и их передача в процессе обучения в перспективе должны представлять собой единую научно-образовательную систему, работающую на цели устойчивого развития и функционирующую по принципам этой цивилизационной модели.

Знание и наука

Нет ничего практичнее, чем хорошая теория.

Л. Больцман

1.1. Наука как процесс познания

Исследование взаимодействия человека с основными компонентами окружающей его среды (сверхъестественный мир, природные и искусственные материальные объекты, идеальные системы) возможно только при условии знания их особенностей. В общем смысле «знание» – это определенное представление чего-то в сознании человека (в том числе и самого сознания). Специальным видом является научное знание, которое характеризуется возможностью его сопоставления (как идеальной системы) с некоторой реальностью. Именно поэтому конкретные системы знаний могут быть истинными, объективными или субъективными, полными или неполными, точными или неоднозначными.

Научное знание связано с возникновением и развитием науки. Существуют разные определения науки:

наука – это форма отображения действительности в общественном сознании;

наука является системой знаний, элементами которой служат философские и мировоззренческие основания и выводы;

наука представляет собой особую сферу целенаправленной человеческой деятельности, основной задачей которой является исследование объективных связей в природе и обществе и установление законов, которым они подчиняются в своем развитии;

наука – это форма человеческих знаний, которая является составной частью духовной культуры общества.

Наиболее общим определением может быть следующее: наука есть исто-

рически развивающаяся система знаний о свойствах и отношениях изучаемых объектов, каковыми являются природа, социум и человеческое мышление.

В данной системе выделяются несколько направлений:

- формирование логически непротиворечивой системы знаний об объективной картине мира;
- создание и разработка специальных средств познавательной деятельности (математические методы, исследовательское оборудование и т.п.);
- осуществление особого вида профессиональной деятельности (ученые, инженеры и т.п.) в сфере общественного разделения труда;
- функционирование специальной системы организаций и учреждений, занимающихся получением, хранением, распространением и внедрением полученных знаний (библиотеки, информационные центры и др.).

Преднаука была связана с элементами ремесла (греч. *tesche*), знание вырабатывалось в процессе практической деятельности, накапливался эмпирический опыт. Другим источником знаний служила религия, деятельность служителей культа. «Мудрецами» называли египетских жрецов, иранских магов, вавилонских волхвов и первых древнегреческих мыслителей. Позднее возникло понятие «любитель мудрости» (греч. *filisofos*), которым обозначали в античную эпоху людей, занимающихся умозрительным познанием природы. Аристотель назвал их «физиками» (греч. *fisis* – природа).

Термины «наука» (англ. *science*) и «ученый» (англ. *scientist*) сформировались уже к первой половине XIX в. в практике европейских университетов. Ими обозначалась деятельность в сфере математики, физики, химии и в других естественных науках. Для социальных наук позднее стал использоваться термин «*social science*».

В настоящее время сложилась общепринятая классификация наук (условная, как и любая классификация):

естественные науки (естествознание) – система наук о природе;

социальные и гуманитарные науки (обществознание) – система наук о человеке и обществе;

технические науки (техникосзнание) – система наук, наиболее тесно связанных с реализацией теоретического знания.

Можно выделить и другие группы наук например медицинские, сельскохозяйственные, в которых делается акцент на отдельных сферах человеческой деятельности. Формируются и междисциплинарные и общенаучные формы и средства познания. Впрочем, естественные, общественные и технические науки нельзя представлять в качестве абсолютно независимых областей науки: между ними существуют взаимосвязи и границы их не столь уж конкретны. Кроме того, внутри общественных, естественных, технических и других наук имеются свои виды и формы деятельности, которые также взаимодействуют между собой, и от степени этой интеграции зависит адекватность результатов познавательного процесса. В то же время наука как единая система деятельности состоит из научно-исследовательского, научно-организационного, научно-информационного, научно-педагогического и научно-вспомогательного видов деятельности, между которыми также существуют определенные взаимосвязи. Развитие науки является объективным процессом, для которого характерна ориентация на внутренние условия, имманентные (лат. *immanentis* – свойственный, присущий) самой науке. Вместе с тем ее формирование все в большей степени выявляет историческую зависимость от социальных, экономических, культурных и других внешних условий.

Основные особенности научного познания следующие:

универсальность, обусловленная тем, что результатами естествознания пользуется все человечество;

фрагментарность, выражаемая в изучении различных материальных объектов и явлений, а также в дифференциации естествознания на разные отрасли;

систематичность, связанная с тем, что любая из естественных наук имеет строго определенную структуру;

преемственность, проявляющаяся в зависимости новых знаний от предыдущих;

рациональность, выражаемая в представлении полученных результатов исследований в виде концепций, теорий и законов;

верифицируемость, то есть *воспроизводимость и достоверность*, непосредственно определяемые возможностью экспериментальной проверки любых научных выводов;

фальсифицируемость научной теории, то есть принципиальная опровержимость, существование методологической возможности ее опровергнуть с помощью эксперимента;

использование средств познания (как материальных: приборов, инструментов, научного оборудования, так и идеальных: *языка науки* (понятий, категорий), норм, концепций, теорий).

Естествознание непосредственно связано с такими понятиями, как научное познание, объект и субъект науки, язык науки. *Научное познание* обычно представляют как процесс приобретения знаний. *Объект* науки – это то, что изучает данная наука, а *субъект* – тот, кто изучает объект. *Язык науки* – система особых знаков, символов, понятий, выработанных в процессе научной деятельности для получения, фиксации, обработки и трансляции полученного знания. Язык науки сочетает элементы естественного и искусственного. Естественный язык выступает базой для научного и помогает отражать свойства, структуру и функции материального объекта, а также особенности механизма того или иного явления или процесса. Искусственное начало языка науки выражается в знаках, символах, математических, физических и химических формулах и уравнениях, причем каждая наука (или ее раздел) имеет свою систему понятий, представляющих ее язык. Так, в физике – это масса, энергия, скорость, волна, импульс, силовое поле; в химии – элемент, валентность, химическая связь, кислота, соль; в биологии – организм, жизнь, обмен веществ, живое вещество, ген...; в математике – число, функция, уравнение, дифференциал, интеграл...; в географии – ландшафт, рельеф, климат.

Основой научного знания, в отличие от религии, является не вера, а реальность и установленные законы; в отличие от искусства естественнонаучное

знание не останавливается на уровне образов, а доводит результаты исследований до выработки концепции, создания теории или формулировки закона; в отличие от идеологии естествознание имеет всеобщее значение и не зависит от социально-государственного строя.

На основе изложенного можно сделать выводы о принципиальных отличиях действительной науки от вненаучного знания (ненаучного, донаучного, псевдо-, пара-, квази-, лженаучного и др.). Этика научных исследований включает свободу научного познания, установление научной истины (об этом понятии речь пойдет далее), возможность критики как исходных, так и конечных результатов, новизну научного знания. Различные виды околوناучного знания (наука древних культур, астрология, парапсихология, уфология, девиантная наука) в разной степени не соответствуют перечисленным критериям научности. Они отличаются несистематичностью либо некритическим подходом к исходным данным и к конечным результатам, нарушением общепринятых этических норм, фактическим отсутствием теорий и законов, объясняющих свойства материальных объектов и механизмы явлений или процессов.

Естествознание как область науки является частью культуры, и в этом смысле взаимосвязано со всеми ее элементами – религией, философией, этикой, политикой и другими. С другой стороны, это – самостоятельная область человеческой деятельности, обладающая своей структурой, предметом и методами. Это деятельность, направленная на выработку, систематизацию и развитие объективных знаний о явлениях и процессах природы. Естествознание включает в себя как сам процесс получения знания (наблюдение, измерение, эксперимент и др.), так и его результат – систему научных знаний о природе, формирующих естественнонаучную картину мира.

Цель естествознания – описание, анализ и прогнозирование природных явлений и процессов. Исторически объектом естествознания выступает неживая и живая природа. В соответствии с этим традиционно выделяются естественные науки, изучающие объекты неживой природы (астрономия, механика, физика и др.), и науки, связанные с исследованием живой природы (биология,

медицина, генетика и др.).

1.2. Естествознание в современном мире

На различных этапах своего развития характер культуры определялся господствующей системой мировоззрения: древний тип культуры основан на мифологии, средневековый – на религии, картину мира эпохи Возрождения и Просвещения формирует уже философия.

Наука становится определяющим фактором развития социокультурных процессов только на рубеже XIX–XX вв. Именно наука и формы ее реализации определяют специфику взаимоотношений человека, общества и окружающей природной среды. В первое десятилетие XX в. уровень естественнонаучного познания позволил стать человеку, по выражению В.И. Вернадского, «силой планетарного масштаба». Однако уже к середине XX столетия стало ясно, что реализация довольно большого числа фундаментальных законов и принципов естествознания приводит в той или иной степени к отрицательным последствиям как для человека, так и среды его обитания. В естественнонаучном контексте «гамлетовский вопрос» можно сформулировать следующим образом: наука – добро или зло? Ее развитие – благо или угрожает существованию человека, социума и биосферы? Не свидетельствуют ли эти вопросы о кризисе науки?

В истории науки, используя терминологию О. Шпенглера, можно выделить два типа научного знания: «аполлоновский» и «фаустовский». В первом случае имеется в виду наука античного типа с ее созерцательностью, пассивностью, локальностью, иррациональностью. Во втором – современная наука с ее активностью, динамичностью, глобальностью, рациональностью. Именно с этими ее характеристиками связываются представления о «кризисе» научного знания, «тупиковой» направленности его развития. Ведь активность науки оборачивается усилением негативных ее последствий, рациональность требует иррациональности в качестве дополнительности и т.п. Преодоление кризисных тенденций в развитии науки связано с необходимостью включения в ее структуру ряда новых тенденций (гуманизация, экологизация, компьютеризация,

космологизация и др.). Эти тенденции отчетливо проявляются в динамике научно-технического прогресса (НТП) и его современной формы – научно-технической революции (НТР).

НТР – это период развития цивилизации, связанный с качественными изменениями в системе «человек – наука – техника», такими как компьютеризация научных и технико-технологических процессов, использование биотехнологических систем, совершенствование управленческих структур и многое другое. Динамизм НТР, масштабность производственно-хозяйственной и социокультурной деятельности оборачиваются усилением негативных факторов, связанных с реализацией открытий в фундаментальных науках. Эта тенденция характерна для современной системы естественных, социальных и технических наук.

В 1970–1980-е годы НТР приобретает образ «экологической революции» (ЭР), ориентированной на преодоление кризисной ситуации в системе «человек – наука – техника – общество». Затем, НТР реализуется в форме «компьютерной революции», обусловленной широкомасштабным внедрением микроэлектроники в производственно-хозяйственной и социокультурной деятельности социума. Изменяются традиционные способы получения, обработки и передачи информации. Компьютерная революция (КР) привела к процессу информатизации общества. При этом ЭР и КР находятся во взаимосвязи и взаимозависимости. ЭР способствует переориентации традиционных направлений развития цивилизации; КР создает необходимые информационные и технико-технологические условия для рационализации и оптимизации отношений «человек – общество – биосфера».

В конце XX в. выявляется тенденция к преодолению «разрыва» между естественнонаучным и гуманитарным знанием, науками о природе и человеке. С одной стороны, повышается степень гуманитаризации науки, активизируется ее сближение с духовными и нравственными аспектами культуры. С другой стороны, усиливается процесс «сциентификации» культуры, обусловленный проникновением научных идей, концепций и представлений в совокупность

знаний о человеке и обществе.

Современная научная картина мира все больше приобретает системно-интегративный характер, опираясь на синергетический подход, основанный на кибернетических представлениях, общей теории систем, самоорганизации и самоуправления систем различного уровня. Именно в его рамках создаются предпосылки для «переноса» основных понятий и представлений из сферы естественных наук в область гуманитарного знания и наоборот. При этом естественнонаучные и социокультурные процессы рассматриваются в динамике их изменений и взаимодействий.

1.3. Структура естественнонаучного познания, его основные формы и методы

Научное познание представляет собой процесс получения объективного, истинного знания о мире и человеке. Выделяют два основных взаимосвязанных уровня научного познания: *чувственное и рациональное*. Существует еще один способ познания мира, не сводимый к первым двум, – *интуитивный*, свойственный больше религиозному и художественно-эстетическому познанию, но не чуждый и научному. Именно интуиция ведет гениального ученого в нужном направлении, помогает определить правильную тактику и стратегию исследования.

К чувственному уровню познания относятся ощущение, восприятие и представление. *Ощущение* – это отражение в сознании человека отдельных свойств материальных объектов, а также особенностей механизмов явлений или процессов. *Восприятие* – это отражение в сознании человека самих предметов или явлений. *Представление* – это возникающие в сознании человека образы изучаемых объектов и явлений (или их свойств и особенностей).

Основными формами рационального познания являются понятие, суждение и умозаключение. *Понятие* – форма мышления, которая идентифицирует объекты по их отличительным признакам и особенностям. *Суждение* – форма мышления, утверждающая или отрицающая свойства материальных объектов

или особенности механизма явления (процесса). *Умозаключение* – форма мышления, с помощью которой из одного или нескольких суждений выводится новое суждение.

Чувственное и рациональное начала познания лежат в основе двух взаимосвязанных уровней науки: эмпирического и теоретического.

Важной составляющей процесса познания является теория, главная цель которой – объяснение эмпирически найденных закономерностей, их целостное описание и предсказание новых закономерностей. Основными элементами теории являются ее принципы и законы. Принципы выполняют роль первичных предпосылок фундаментальных положений теории, а законы, конкретизируя принципы, устанавливают взаимосвязь вытекающих из них следствий. Одной из особенностей теории является возможность получить знания об объекте, не вступая с ним в непосредственный контакт. Именно поэтому любая теория должна дополняться логико-гносеологическим методом, обратным абстрагированию, то есть соответствующей интерпретацией. Несмотря на то что различные теории являются одной из наиболее устойчивых форм научного знания, они довольно часто подвергаются как качественным, так и количественным изменениям в связи с накоплением новых эмпирических данных. Такие изменения могут касаться и фундаментальных принципов теории; причем переход к новому принципу, как правило, приводит к новой теории, которая, в свою очередь, должна удовлетворять принципу *соответствия Н. Бора*. Согласно этому принципу каждая новая, более правильная и общая теория должна не отвергать предшествующую, а сводиться лишь к ней при тех условиях, при которых она была ранее построена (история развития естествознания знает много подобных примеров: так, классическая механика является частным случаем теории относительности, при слабых гравитационных полях).

Из анализа общих форм, методов и значения теории в естественнонаучном познании можно сделать определенные выводы о его *структуре*. Отправным моментом любого научного исследования является *эмпирический факт*. Затем следует определить частоту или вероятность проявления данного факта.

Для этого необходимо использовать специальные методы исследования, важными элементами которых являются наблюдение и испытание объекта изучения, то есть то, что обычно называют проведением эксперимента. При этом эксперимент может быть мысленным (основанным на каких-то представлениях), модельным (основанным на изучении предметов или явлений, размеры которых, как правило, пропорционально уменьшены) и реальным (соответствующим действительности). На основе полученных экспериментальных данных должны быть сделаны так называемые *эмпирические обобщения*, которые могут позволить выдвинуть ту или иную *гипотезу*. Следует заметить, что чаще всего гипотеза выходит за пределы фактов, послуживших основой для нее. Поэтому после выдвижения гипотезы нужно снова возвратиться к *эксперименту* (как правило, на более высоком качественном уровне). И только в том случае, когда гипотеза выдерживает повторную экспериментальную проверку, она может приобрести статус *закономерности*, концепции или даже закона. В конечном счете все это и может явиться основой для создания *теории*, описывающей специфику изучаемого объекта. Таким образом, структуру научного познания схематично можно представить следующим образом: эмпирический факт – наблюдение – мысленный эксперимент – модельный эксперимент – реальный эксперимент – эмпирическое обобщение – формулировка научной гипотезы – проверка ее на опыте – введение терминов и знаков – получение количественных соотношений – создание теории.

Итак, эмпирический и теоретический уровни познания находятся во взаимосвязи, обуславливая и дополняя друг друга.

Любое научное исследование исходит из презумпции существования объекта познания, так как достоверное знание можно получить лишь о том, возможность существования чего может быть подтверждена тем или другим способом. В связи с этим появляется новое понятие, связанное с процессом познания, а именно *методология науки*. С общей точки зрения методология науки формулирует принципы построения форм и способов научного познания, изучает свойства научного знания, взаимоотношения между разными системами

знания, а также закономерности их возникновения и развития. Поэтому при изучении какого-либо объекта методология любой науки должна использовать как конкретные методы исследования, так и общие формы и способы познания.

Понятие «*метод*» можно представить как определенную совокупность операций теоретического или практического познания реальности. Характерной чертой *научного метода* является его объективность при установлении тех или иных особенностей реального мира. Научный метод представляет собой воплощение единства всех форм знаний. Познание в естественных, технических, социальных и гуманитарных науках в целом совершается по некоторым общим принципам и правилам. Это свидетельствует, во-первых, о единстве всех наук, а во-вторых – об общем, едином источнике познания, которым является объективный реальный мир: природа и общество.

Различные науки в процессе своего развития выработали огромное множество методов научного исследования. Это многообразие можно классифицировать по различным основаниям.

По степени общности различают методы: всеобщие (применимые во всех науках без исключения, например диалектический метод), общенаучные (применимые в большой совокупности наук, например в естественных науках) и частнонаучные (применимые в одной или узкой родственной группе наук). По степени обоснованности: статистические, вероятностные, индуктивные, дедуктивные. По механизмам обобщения: аналитические, моделирования, синтетические, генерализации, идеализации типологизации, логические, классификации. Возможны и другие классификации, например методы эмпирического и методы теоретического исследования. Есть различия и в методологии отдельных наук.

В качестве наиболее общих (общенаучных) методов естественнонаучного познания применяются:

анализ и синтез – процессы мысленного или фактического разложения объекта или явления как целого на составные части (признаки, свойства, стадии механизма и т.д.) и объединение изученных частей в единую систему соответственно;

абстрагирование – выделение основных и пренебрежение несущественными свойствами и отношениями изучаемого объекта;

обобщение – логический процесс установления новых общих свойств и признаков;

индукция и дедукция – построение выводов от частного к общему и от общего к частному соответственно (на основе законов логики);

формализация – метод, приводящий к созданию определенного языка науки, то есть к отображению результатов познания в наиболее точных понятиях и утверждениях;

аналогия – метод, при котором на основе сходства объектов по одним признакам делается заключение относительно сходства других признаков;

системный анализ – включает исследование совокупности всех взаимосвязанных, взаимозависимых и взаимодействующих объектов, явлений и процессов, предназначенных для выполнения определенной функции;

функциональный метод – связан с его главной задачей, а именно с установлением основных функций изучаемого объекта;

моделирование – построение концептуальной модели изучаемого объекта. В общем случае моделированием можно считать воспроизведение характеристик некоторого объекта на другом объекте, специально созданном для их изучения, то есть в любом случае модель заданным образом отражает выбранные свойства исходного объекта исследования. В зависимости от конкретной области естествознания моделирование имеет определенный смысл – существуют математическое, физическое, химическое и другие виды моделирования.

К общенаучным методам эмпирического уровня относят: наблюдение, измерение, эксперимент.

Важнейшими результатами процесса познания, своеобразными функциональными элементами научного метода являются *объяснение, понимание и предсказание*.

Объяснение можно определить как описание явления, процесса или свойств материального объекта с помощью концепций, теорий или законов.

Функцию объяснения главным образом выполняет естествознание. Социально-гуманитарному исследованию больше свойственно *понимание* – способ, с помощью которого интерпретируют явления и процессы, как индивидуальной духовной жизни, так и общественной социально-гуманитарной деятельности. В некоторой мере понимание схоже с телеологическим объяснением, направленным на раскрытие целей, намерений, смысла действий и поступков. Поэтому такой проблемы, как понимание природы, в принципе не может существовать, поскольку сами природные явления не имеют определенной цели, то есть в них нет заранее вложенного кем-то смысла. *Предсказание*, или *предвидение*, по своей логической структуре близко к объяснению и обычно выражается в форме высказываний о возможных фактах, но, как правило, на основе ранее известных теорий или законов. Особую роль в данном случае играет интуиция. Однако предсказание как форма познания имеет свою специфику в естествознании и в социально-гуманитарных науках. В первом случае предсказание опирается на фундаментальные законы, во втором – на вероятностные и статистические закономерности, которые часто имеют недостоверный характер.

1.4. Основные принципы фундаментальных и прикладных наук

Со структурой научного познания связаны основные принципы фундаментальных и прикладных наук. Проблемы, возникающие внутри самой науки, имеют фундаментальный характер, и их решение направлено на открытие и изучение новых явлений и законов неживой и живой природы, которые существенно расширяют знания об окружающем мире. Задачи, которые ставятся перед исследователями извне (обычно для решения какой-либо конкретной задачи), являются прикладными. Кроме того, под фундаментальными науками обычно понимают такое знание, которое адекватно отображает законы (закономерности) объективного мира и условия их действия. Науки же, использующие эти законы и изучающие пути, средства и формы их приложения, ориентированные на тактические нужды, считаются прикладными науками. Использование результатов фундаментальных работ, в отличие от прикладных, часто

требует довольно длительного времени, что может быть связано как с субъективными, так и с объективными причинами. Безусловная важность фундаментальных исследований состоит в том, что именно они позволяют поддерживать высокий уровень прикладных работ.

Обычно для различия фундаментальных и прикладных наук используют информационную модель получения научной информации. Если в качестве крайних «полюсов» взять готовые формы знания и объект познания, то фундаментальное исследование характеризуется движением информации от объекта к формам знания, выступающим в качестве результата, итога исследования. Прикладное же исследование характеризуется движением научной информации от полученных ранее форм знания к объекту его приложения, использования, внедрения. Очень важно, говоря о науке в целом и движении информации в ней и от нее, обратить внимание на присущую ей управленческую функцию по отношению к производству и другим практическим сферам, которая выступает в качестве одной из основных функций движения информации в процессах интеграции науки и производства. К сожалению, эта функция довольно редко привлекает внимание исследователей, а между тем она и является одной из основных функций прикладных наук.

В некоторой степени управленческая функция присуща и фундаментальным наукам, но более четко выражена в науках прикладных, поскольку здесь она приобретает более конкретный характер и реализует вполне определенные, в том числе социальные цели. Вместе с тем управленческая функция и схема движения научной информации отнюдь не позволяют четко разграничивать фундаментальное и прикладное знание. Дело в том, что движение знаний от более общей теории к более частной, от общего положения к конкретному происходит в процессе применения философской, общенаучной и частнонаучной методологии. Так, если используется философское знание при построении какой-либо фундаментальной естественнонаучной теории, то это знание не перестает быть фундаментальным; однако оно используется и в этом смысле оказывается прикладным. Некоторые фундаментальные науки могут пользоваться аппара-

том других фундаментальных наук, которые в таком случае сами приобретают черты прикладного знания. Таким образом, использование какого-либо фундаментального знания происходит не только в прикладных исследованиях, но и в другом фундаментальном исследовании.

Несмотря на принципиальное различие между фундаментальными и прикладными проблемами, существуют общие принципы, являющиеся основой любого исследовательского процесса и основанные на взаимосвязи теории с практикой.

Один из таких принципов состоит в том, что *теория может быть верна только после подтверждения ее положений и выводов опытом*. При этом эксперимент должен проводиться в таких условиях, которые бы исключали воздействие посторонних (не относящихся к объекту исследования) факторов и тем самым не искажали действительной картины явления, процесса или свойств материального объекта. Важной стадией в проверке теории опытом является установление границ применимости данной теории. Эта стадия также зависит от объективных и субъективных факторов. К объективным относятся время (которое связано с динамикой свойств окружающей человека среды) и несовершенство техники эксперимента. Субъективными факторами являются особенности органов чувств и разные интеллектуальные способности человека.

Другим важным принципом фундаментальных и прикладных наук является *«принцип причинности»*. Известно утверждение Демокрита: «Ни одна вещь не возникает беспричинно, но все возникает на каком-нибудь основании и в силу необходимости». С позиций современного естествознания этот принцип означает наличие причинно-следственной связи между отдельными состояниями материи в процессах ее движения и развития. *Причинами* являются основания для возникновения и развития материальных объектов, явлений и процессов, включая изменения их свойств и механизмов. Сами же изменения называются *следствиями*.

Третий принцип – это *относительность научного знания*, то есть научное знание (понятия, идеи, концепции, теории, модели и т.д.) всегда относительно и

ограниченно. С этим принципом связана одна из основных задач исследователя: найти так называемый интервал неточности – ошибку теории или эксперимента, которые всегда присутствуют в любых исследованиях.

С указанными принципами непосредственно связан вопрос об истине как о главном предмете познания, так как вообще одним из основных вопросов естествознания (да и социально-гуманитарных наук) является следующий: в какой мере можно доверять научным результатам и что считать *научной истиной*? В данном случае уместно вспомнить слова Галилея: «Задача науки состоит не в том, чтобы ответить на вопрос “как?”, а в том, чтобы ответить на вопрос “насколько?”» (имелось в виду – насколько тот или иной результат близок к истине). Отсюда, не вдаваясь в дальнейшие подробности данной проблемы, можно сделать следующие выводы относительно определения и особенностей научной истины:

- научная истина – это воспроизведение материальных объектов и явлений, так как они существуют вне и независимо от сознания;
- научная истина является адекватным отражением объектов и явлений познающим субъектом;
- научная истина объективна по содержанию, но субъективна по форме;
- любая научная истина относительна и содержит лишь элемент абсолютного знания;
- абсолютная истина (как абстрактное понятие) представляет собой сумму относительных истин.

Вместе с тем, необходимо различать такие понятия, как научная истина и научное мировоззрение, которые не являются синонимами. *Научное мировоззрение* – это такое объективное отношение к материальному миру, при котором каждое явление находит объяснение, не противоречащее основным принципам естественнонаучного познания. Фундаментом научного мировоззрения является *научный метод*, который заключается в следующем. Во-первых, в основе научного подхода к решению поставленной проблемы лежит использование общих методов естественнонаучного познания, рассмотренных ранее. Во-

вторых, главной задачей научного метода является строго объективная оценка изучаемых объектов и процессов и обобщение полученных результатов. В-третьих, исходной предпосылкой любого исследования служит утверждение о том, что материальный мир представляет собой упорядоченную и познаваемую сущность. Именно в связи с этим наука не зависит ни от эпохи, ни от общественного и государственного строя, ни от индивидуальных различий и тем самым резко отличается от религиозных и других духовных проявлений человечества. Поэтому истинное познание природы происходит в тот момент, когда между теорией и опытом возникают противоречия, которые как раз и способствуют более глубокому познанию природы и дальнейшему развитию теории. Более того, чем сильнее такие противоречия, тем радикальнее идет изменение законов, описывающих свойства природных и искусственных материальных объектов.

Естественнонаучная картина мира включает в себя различные уровни: философский, общенаучный и частнонаучный. Создаваемая в целом всем комплексом наук о природе естественнонаучная картина мира имеет особое мировоззренческое значение не только в силу своей «интегративной мощности», но и потому, что включает в себя человека как социальное существо.

1.5. Взаимосвязь между естественнонаучным и гуманитарным знанием

Первой формой научного, рационального познания действительности, сбрасывающей оковы мифологического миропонимания и вышедшей за рамки утилитарной, практической деятельности, была греческая натурфилософия, то есть философия природы. Аристотель называл древних философов физиками и первым провел демаркационную линию между физикой и метафизикой (философией в нашем понимании).

Обособление естественнонаучной и гуманитарной областей знания происходит в период активного развития экспериментальной науки Нового времени. С XVII в. прикладная наука постепенно отделяется от умозрительных рас-

суждений богословов, философов, чья деятельность не была связана с техническим прогрессом, и начинает оказывать существенное влияние на развитие материального производства, способствуя техническому прогрессу. Естествознание отчетливо противопоставляет гуманитарному и общественному знанию.

На рубеже XVI и XVII вв. началось и внутринаучное «разветвление» науки как целого на частные дисциплины, среди которых лидером становится классическая (ньютоновская) механика. Получает статус самостоятельности химия, обретая свой предмет исследования. Процесс дифференциации наук продолжал усиливаться, но диалектическим следствием этого явилось возникновение и бурное развитие пограничных, «стыковых» наук.

Развитие науки характеризуется диалектическим взаимодействием двух противоположных тенденций – дифференциации и интеграции. На ранних этапах развития науки преобладает дифференциация, для современной науки более характерна склонность к интеграции: объединению, взаимопроникновению, синтезу наук и научных дисциплин. На рубеже XIX–XX вв. возникли биофизика, химфизика, биохимия, геофизика и т.п., образованные в процессе взаимосвязи смежных дисциплин. Позднее сформировались «синтетические» естественные науки (информатика, кибернетика, экология и др.), использующие методы как естественных и технических, так и социальных наук. Параллельно продолжались процессы дифференциации знаний, связанные с более тщательным и глубоким изучением определенной области действительности (так называемый дисциплинарный подход).

Несмотря на усиление интегративных тенденций в естествознании и в науке вообще, английский писатель и физик Ч. Сноу (1905–1980) в середине XX столетия зафиксировал ситуацию острого противостояния естественнонаучной и гуманитарной культур. В книге «Две культуры» он с сожалением отмечает, что развитие естественных и гуманитарных наук не выходит на желанный уровень интегративности. Мнения наших современников на этот счет расходятся. Одни фиксируют дальнейший «разрыв» естественнонаучного и гуманитарного знания, прогнозируя приближение эпохи «множественности» культур,

предсказывают усиление тенденции дифференциации знаний о природе и человеке. Другие отмечают повышающийся статус дисциплин гуманитарного профиля по отношению к наукам естественнонаучного и технического цикла. Третьи доказывают, что сохраняется исторически сложившееся подчиненное положение гуманитарных дисциплин по отношению к наукам, занимающимся выявлением природных закономерностей. Если в период возникновения полемики по проблемам «двух культур» речь шла, по существу, об абсолютном доминировании в иерархии современного знания статуса естествознания, то к концу XX в. естествоиспытатели все чаще обращаются к закономерностям, которые традиционно выявляются в рамках человекознания. Это обращение не только связывается с поиском ответов на вопросы философского, мировоззренческого или социального характера, но и затрагивает непосредственно сферу их профессиональной деятельности: выявление «пределов» проникновения биологических наук в «тайны живого» или анализ социокультурных последствий развития современной ориентации физического знания.

Представители гуманитарных наук часто утверждают (их позиция нередко поддерживается естествоиспытателями, чувствующими «ограниченность» традиционных естественнонаучных подходов к познанию природы и человека), что лишь гуманитарная сфера знания, связанная с истинно духовными ценностями, ведет к познанию природы и человека во всем многообразии. При этом очевидным является усиливающаяся взаимосвязь и взаимозависимость естествознания, техникзнания, человекознания и искусства. Взаимосвязь естественных, технических и гуманитарных наук, а также искусства отнюдь не означает отсутствия между ними различий. Совершенство теоретических построений Планка или Эйнштейна вызывает у физика чувство восхищения, сравнимое, например, с созерцанием полотен Тициана или Гогена. Более того, новые тенденции, внесенные в музыку и живопись, например, Вагнером или Сезанном, могут быть сравнимы с открытиями в сфере естествознания, приведшими к научной революции. Если бы не родился в свое время Ньютон, то соответствующие законы механики были бы открыты, несомненно, раньше или

позже другим физиком. В то же время произведения искусства несут на себе абсолютный отблеск личности творца (это характерно, но в меньшей степени, и для сферы науки). Музыка Моцарта или Бетховена, живопись Веласкеса или Дали, сценические образы Бернар или Ермоловой, романы Достоевского или проза Белля связаны лишь с ними.

Следовательно, «разрыв», с одной стороны, между естественнонаучным и гуманитарным знанием, а с другой – между наукой и культурой имеет под собой реальные основания. И если прежде различия между ними абсолютизировались (преувеличивались, к примеру, объективность научного знания и субъективность гуманитарных наук), то к концу XX в. все в большей степени акцент ставится на элементы, их объединяющие. Начинает складываться так называемая единая, или «третья культура», которая представляет собой особый тип социокультурной целостности, образующейся в процессе преодоления «разрыва» между различными сферами современного научного знания и различных типов духовной деятельности.

Единая культура представляет собой такой уровень социокультурного развития цивилизации, при котором выявляются единство и взаимосвязь естествознания, техникзнания и человекознания. Реальность «третьей культуры», то есть возможность реализации интегративных тенденций в науке, подкрепляется уровнем развития современного знания. Во-первых, традиционная дифференциация научного знания, характерная для естественных, технических и гуманитарных наук, подготовила основание для междисциплинарной взаимосвязи сложившейся системы. Во-вторых, аппарат современного научного знания фактически приспособлен для реализации интегративных представлений, которые обусловлены внутренней логикой формирования науки, универсальностью структур и приемов научного мышления. В-третьих, общечеловеческие (глобальные) проблемы, возникающие в рамках цивилизаций в конце XX в., требуют для их разрешения активизации процессов, связанных именно с интегративными тенденциями в структуре науки.

Сбываются прогнозы В.И. Вернадского, который еще в 1930-х годах

предполагал стирание граней между отдельными науками, целесообразность специализироваться не по наукам, а по проблемам. Во всяком случае, традиционный дисциплинарный подход, выявляя свою определенную ограниченность, постепенно заменяется проблемным подходом, в рамках которого обобщение научных и практических представлений происходит в контексте разрешения определенных задач (или их системы) социальной практики. Рациональное начало, доминирующее в науке, и образное, интуитивное, определяющее стиль художественного и духовного творчества, образуют единство, выражая неразрывность и взаимозависимость науки и духовной жизни.

В основе «третьей культуры» лежит представление о «единстве мира», которое и обуславливает в конечном счете единство научного и гуманитарного знания. Из единства естественнонаучного и социокультурного бытия выводится единство знания о мире, основанное на единой системе методов. Тем самым обозначается идея общности теоретических и социокультурных оснований научного знания. Таким образом, в рамках «третьей культуры» единство научного знания достигается не отрицанием специфики его различных областей, но выражается в многообразии их форм. Именно так существует особая форма рефлексии и постижения реальности – философия.

Наука и философия. Исторически философия и наука взаимосвязаны и ориентируются на разрешение сходной задачи, а именно на выявление закономерной природы и сущности человека. В рамках первых философских систем, вплоть до середины XIX в., философия выступала преимущественно в форме «натурфилософии», пытавшейся интерпретировать «сущность» многообразных вещей и явлений реальности в их «мыслительной» («спекулятивной») целостности. При этом развивающиеся философские системы не только стремились сформулировать теоретические основы мировоззрения, но и претендовали на статус «высшей ступени» познания, на роль «науки наук». По мере развития специальных наук философия утрачивала свое бывшее значение. Ситуация в философии отчасти похожа на трагедию шекспировского короля Лира, раздавшего дочерям свои богатства. Из недр философии отпочковались специальные обла-

сти знания, которые пытались забыть о родстве с ней. Разрядить ситуацию должна была «позитивистская философия».

В рамках позитивизма развивался тезис о необходимости превращения философии в специальную частную дисциплину со сравнительно ограниченным предметом исследований (язык науки, методология научного познания и др.). Позитивисты, а в особенности постпозитивисты, прогнозировали «смерть» философии в ее традиционном понимании. Развитие науки оказало принципиальное воздействие на философию, которая должна была найти свое место «под солнцем». И в этой «драме идей» философия не затерялась, сохранила свои целевые установки и высокий статус в культуре. Философия науки – область научного знания, в рамках которой изучаются философско-методологические аспекты развития естествознания, техникзнания и человекознания (общественных наук).

Взаимосвязь философии, естествознания и других частных наук реализуется в нескольких направлениях. Среди них выделяются следующие: во-первых, философский анализ различных областей науки, интерпретация ее достижений и выявление возможных философско-методологических их следствий; во-вторых, использование философско-методологического аппарата (категории, законы, принципы и др.) для анализа научного знания, выхода на новый уровень теоретического познания; в-третьих, восприятие философским знанием достижений и результатов естественнонаучного познания.

В разные исторические периоды взаимосвязь между философией и наукой ставилась и разрешалась различным образом. В античный период представления об особенностях природы, возникнув в обобщенно-философской форме, имели характер натурфилософии, то есть преимущественно умозрительного их истолкования. Философия трактовалась как «наука наук», предлагающая свои апприорные схемы познания другим наукам. В эпоху Возрождения начинается процесс отделения науки от философии, оказывая воздействие как на науку, так и на философию. Объект философии, с одной стороны, сужался, от нее отпочковывались разделы, становившиеся самостоятельными науками

(механика, физика и т.п.), а с другой – расширялся, поскольку науки нуждались в философско-методологическом обосновании и фундаментальном осмыслении своих результатов. В условиях Нового времени дифференциация естествознания продолжалась, но вместе с тем взаимосвязь науки и философии укреплялась и переходила на более фундаментальный уровень. В настоящее время философия не только получает от естествознания эмпирический материал для собственных построений, но и способствует преодолению теоретических противоречий, возникающих в системе развивающегося научного знания.

Каждому периоду взаимоотношений философии и науки присущ собственный стиль научного мышления, который представляет собой специфическую систему принципов, законов и категорий теоретического освоения объективной реальности. Анализируя научные достижения конца XVIII – середины XIX в., Ф. Энгельс в работе «Диалектика природы» выявил эволюцию стиля научного мышления. Так, для античной эпохи был характерен диалектический стиль мышления в его стихийно-наивной форме. В условиях Средневековья доминирует схоластический стиль научного мышления, сложившийся в рамках религиозных дискуссий. В его основе – подчинение научных ценностей религиозным (наука – «служанка богословия»). В эпоху Нового времени складывается метафизический стиль научного мышления. С одной стороны, в его рамках на основе развития естествознания преодолевался догматизм схоластики, а с другой – абсолютизировались возможности естественнонаучного познания. Это привело к односторонности познавательного процесса, то есть к преувеличению статуса механистических закономерностей, к доминанте аналитического подхода в исследовании природы. Стихийно-наивная форма диалектического стиля научного мышления позволяла охватывать картину явлений природы в целом; при этом, однако, утрачивались подчас реальные связи и отношения между природными объектами и явлениями. Метафизический же стиль научного мышления акцентирует внимание на частнонаучной картине мира, предоставляемой механистическим естествознанием.

Начиная с XIX в. основным всеобщим научным методом становится диа-

лектический (И. Кант, Г. Гегель, К. Маркс). «Природа мышления есть диалектика», – читаем у *Г. Гегеля*. Это и саморазвитие мысли, и саморазвитие бытия. Выдвинув новый тип логики, Гегель противопоставлял ее «застывшей», «косной» формальной логике, не способной проникнуть вглубь вещей. Детально разработанный немецкой классической философией, диалектический подход получил свое дальнейшее развитие в трудах *К. Маркса* и *Ф. Энгельса*. В их трактовке, научно-философское мышление теряет под собой всякую почву без диалектического различия и диалектической раздвоенности. В начале XX в. диалектический подход развивает *В.И. Ленин* в работе «Материализм и эмпириокритицизм». Однако ленинская критика эмпириокритицизма носила преимущественно идеологический характер.

Вклад в философско-методологическое осмысление науки внесли крупные русские естествоиспытатели. Математик *Н.И. Лобачевский* (1792–1856) обосновывал фундаментальную философскую идею о зависимости геометрических отношений от природы материальных тел. Физик *Н.А. Умов* (1846–1915) рассматривал взаимосвязь физического знания со всей системой научных представлений о природной и социальной реальности, стремился обосновать пути гармонии отношений «человек – биосфера – космос». Химик *Д.И. Менделеев* (1834–1907) никогда не замыкался в кругу своих профессиональных интересов, анализируя направления развития России. Физиолог растений *К.А. Тимирязев* (1843–1920), опираясь на свои фундаментальные работы по фотосинтезу, размышлял о позитивных перспективах цивилизации. В физиологии человека *И.П. Павлова* (1849–1936) сформулирована система теоретических принципов, положенная в основу изучения психики личности. Для всего научного творчества *В.И. Вернадского* (1863–1945) характерна глубокая философская направленность.

Советский период развития философских вопросов естествознания трудно оценить однозначно. Объективность исследований 1930–1950-х годов искажалась в угоду догматизму, под давлением жесткой политико-идеологической борьбы, в которой жертвой оказывалась и наука. Обвинения в «физическом

идеализме» затормозили фундаментальные исследования микромира; травля «вейсманизма-морганизма» обернулась отставанием в области генетики; ярлык «кибернетика – служанка буржуазии» отнюдь не способствовал развитию отечественных ЭВМ. К сожалению, идеологическая травля новых направлений в науке за их несоответствие марксистским стереотипам нередко осуществлялась философами. Это обстоятельство на десятилетия подорвало взаимоотношения между философами и естествоиспытателями.

В 1960–1970-х годах в стране произошел невиданный «взрыв» интереса к философским вопросам естествознания. В философию пришли представители естественных наук, которые в меньшей степени были затронуты догматизмом прошлого. И хотя отечественная философия науки следовала в русле марксистских традиций, тем не менее в их рамках удавалось приблизиться к адекватному философско-методологическому анализу современных тенденций науки. Именно философские вопросы естествознания стали той областью, где произошли существенные приращения знания. Во-первых, восстановилась и укрепилась взаимосвязь философов и естествоиспытателей. Выдающиеся представители естествознания, многих из которых затронули «идеологические чистки» прошлого, активизировали разработки в сфере философских проблем «своих» наук: *П.Л. Капица* (1894–1984) – в физике; *В.А. Энгельгардт* (1894–1984) и *Н.П. Дубинин* (1906–1992) – в биологии; *А.И. Берг* (1893–1979) – в кибернетике; *Н.Н. Моисеев* (1917–2000) – в экологии. Впрочем, большинство из них отнюдь не замыкались в рамках своих дисциплин, выходя на уровень фундаментальных социально-философских обобщений (о будущем науки, перспективах цивилизации и др.). Во-вторых, активно разрабатывались философско-методологические проблемы всей системы современного научного знания о природе (философские вопросы астрономии, физики, биологии, кибернетики, информатики, космонавтики, теории систем и т.п.), получившие активный положительный резонанс как в нашей стране, так и в мире. В-третьих, в рамках философских вопросов естествознания изучались проблемы современного этапа развития науки (научно-техническая революция, отношение «человек – био-

сфера», глобальные проблемы, информатизация и др.).

На Западе с середины XIX в. взаимоотношения философии и науки активно развивались в рамках позитивизма (лат. *positivus* – положительный). *Позитивизм* – учение, с одной стороны отрицающее познавательную ценность философских исследований, а с другой – утверждающее, что лишь конкретные (эмпирические) науки являются источником действительного знания. Основатель позитивизма французский философ *О. Конт* (1798–1857) выдвинул тезис, в соответствии с которым метафизика (философия) должна быть устранена, а наука призвана ограничиваться лишь описанием конкретных явлений. Провозгласив лозунг «наука не нуждается ни в какой философии», позитивизм абсолютизировал значение конкретных (позитивных) наук в познании объективной реальности.

Неопозитивизм – позитивизм XX в., – в различных своих формах и направлениях (логический позитивизм, научный эмпиризм и др.) продолжил изучение проблем взаимоотношений философии и науки с позиций формальной логики, анализа структуры языка и других. В рамках логического позитивизма сформулирован принцип верифицируемости (лат. *verificare* – доказывать истину). Этот принцип означает, что истинность всякого утверждения о мире должна быть в конечном счете установлена путем его сопоставления с чувственными данными. В соответствии с этим принципом познание не может (и не должно) выходить за рамки чувственного опыта. Позднее был сформулирован скорректированный вариант этого принципа, исходящий из необходимости частичной согласованности чувственных данных и теоретических положений.

В противовес логическому позитивизму, возникший критический рационализм пытался выявить фундаментальные механизмы связи между теоретическим и эмпирическим уровнем познания, преодолеть односторонность позитивизма. В этом контексте один из основателей критического рационализма английский философ *К. Поппер* (1902–1994) разрабатывал идею о существовании «трех миров», а именно: «первый» – мир физических объектов; «второй» – мир состояния сознания; «третий» – мир объективного содержания мышления. В

рамках традиционной концепции науки (Р. Декарт, Д. Беркли, Д. Юм, И. Кант) рассматривалась в основном взаимосвязь отношений «второго мира» с «первым». Поппер относит науку к «третьему миру», включающему совокупность научных проблем, спорных ситуаций, гипотез, рациональных схем и т.п. Выделение трехчленной структуры научного исследования (научная проблема – гипотеза – опытная проверка) позволяет рационально организовать познавательный процесс.

Важный принцип научности, сформулированный Поппером, – принцип фальсификации (лат. *falsus* – ложный и *facio* – делаю) – проверка истинности теоретических утверждений (гипотез, законов, теорий) в процессе их опровержения при сопоставлении с полученными в результате эксперимента данными. В основе этого принципа лежит формально-логическое отношение, согласно которому теоретическое высказывание считается опровергнутым, если его отрицание логически следует из множества совместимых между собой учреждений наблюдения. Этот принцип научного познания – один из тех, которые позволяют провести разграничение между наукой и псевдонаукой.

Английский философ венгерского происхождения *И. Лакатос* (1922–1974) в качестве альтернативы попперовской теории развития научного знания предложил концепцию «научно-исследовательской программы». В ее рамках выделяются теоретические и логические основания науки, включающие совокупность наиболее важных идей, теорий и гипотез. Фиксируются три элемента «научно-исследовательской программы»: «жесткое ядро», принимаемое конвенционально и поэтому «неопровержимо, как любое заранее принимаемое решение»; «позитивная эвристика», которая диктует выбор проблем исследования; «защитный пояс вспомогательных гипотез», выдвигаемых для обоснования научно-исследовательской программы и объяснения познавательных действий ученых. Изменения парадигмы в науке совершаются исходя не из смены отдельных теорий, а на основе изменения программ исследований. История науки рассматривается как смена одних научно-исследовательских программ другими (конкурирующими). Идея «научно-исследовательской программы»

трактуются как исходная единица измерения динамики науки и познавательной деятельности.

В рамках постпозитивизма получило развитие «историческое направление» в философии науки. Его приверженцы (польский философ *Л. Флек* (1896–1961), американский философ *П. Фейерабенд* (р. 1924) и др.), придерживаясь различных точек зрения на проблему взаимоотношений философии и науки, солидарны в том, что традиционный позитивистский (или формально-структурный) подход к динамике науки требует корректировки. Речь идет о том, что адекватное изучение научного феномена предполагает не только исследование внутренних процессов науки, но и анализ воздействия на нее социокультурных факторов, связанных с условиями цивилизационного развития. По существу, прежде альтернативные научно-исследовательские программы – «философские вопросы естествознания» и «философия науки» – в существенной мере сближаются. Идет преодоление традиционного противопоставления естествознания и человекознания, а также формирование нового стиля научного мышления, ориентированного на конструирование целостного образа объективной реальности, то есть поиск общенаучной картины мира.

Таким образом, конец XX и начало XXI в. демонстрируют повышение статуса философии в иерархии современного научного знания, несостоятельность представлений о ее «смерти». Именно философия привносит необходимый гуманистический элемент в динамику развития естествознания, не давая науке впасть в сциентизм, позволяет всесторонне оценить современное состояние науки и выявить основные направления ее развития. Наконец, именно под эгидой философии осуществляется процесс преодоления разрыва между двумя культурами.

Актуальность социоприродных законов. Формирование единой культуры означает не только чисто духовное единение естественнонаучного и гуманитарного мышления. Это и формирование единой социоприродной системы глобального и даже космического масштаба, когда в одно целое соединяются компоненты, которые имеют и социальное, и природное происхождение и сущ-

ность. Это социоприродное целое может развиваться в разных направлениях, либо гармонизируя свои отношения, либо их разрушая. Особенно отчетливо эта проблема возникла в связи с формированием уже упомянутых дисциплин «синтетического» естествознания и «смешанных» социоестественных направлений научного поиска, к которым относятся, например, социальная экология и другие области исследований, связанных с взаимодействием природы и общества.

В подобного рода исследованиях прослеживаются два основных подхода. Один из них (его можно назвать традиционным, или социоцентрическим) акцентирует внимание на обществе, воздействии отрицательных последствий его взаимодействия с природой и мероприятиях, которые надлежит осуществлять человечеству для гармонизации своих отношений с окружающей средой. Второй подход (нетрадиционный, или натуроцентристский) обращает основное внимание на воздействие общества на природу, на ее защиту от губительной деятельности человека. Существование двух подходов, которые имеют различные варианты и разновидности, связанные, в частности, и с различными философскими интерпретациями, обусловлено тем, что взаимодействуют два объекта или системы – общество и природа. В зависимости от того, какому элементу отдается приоритет, проявляется, соответственно, тот или иной подход, каждый из которых в отдельности является несистемным.

Очевидно, что наряду с односторонними подходами возможен и более общий, рассматривающий взаимодействие общества (человека) и природы как определенную социоприродную систему. При таком подходе уже нельзя считать, что законы, которые интересуют социальную экологию, оказываются в отдельности либо социальными, либо естественными, в связи с чем предлагается ввести новый вид законов – социоестественные законы. Следует заметить, что проблема более общих законов, чем социальные и чисто природные, существует не только в области социальной экологии, но и во всех тех областях знания, которые тесно связаны с взаимодействием общества и природы.

Во взаимодействии общества и природы опосредствующим звеном выступает техника. Конечно, можно считать, что техника взаимодействует с при-

родой «на стороне» общества и по своей сущности имеет социальный характер, а потому не следует вводить ее в качестве «третьего члена» в характеристику законов взаимодействия общества и окружающей его среды. Однако это неверно, и введение техники (производства) существенно меняет естественные процессы. Главная особенность происходящих в биосфере процессов заключается в том, что в системе круговоротов, связанных с наличием трех основных функциональных элементов биосферы (продуцентов, консументов и редуцентов), воспроизводятся условия для существования каждого из них. Однако если сюда добавляется производство (техника) как следующий функциональный элемент, эволюция этой четырехэлементной системы будет направлена к тому, чтобы «исключить» производственную деятельность человека из системы или ограничивать сферу его действия. Происходит своего рода реакция отторжения из организма биосферы элемента, резко отличающегося от остальных ее элементов по своим функциональным свойствам.

Отсюда вытекают по меньшей мере две возможности: во-первых, существенное ограничение разрушительного воздействия производства на биосферу; во-вторых, вынесение производственной деятельности за пределы биосферы в космос. В гносеологическом плане исключение техники из системы «общество – природа» и науки, изучающей взаимодействие этих компонентов, также неприемлемо. Игнорирование техники и технических наук лишь по видимости упрощает ситуацию, ибо законы развития техники не сводятся только к социальным закономерностям, так же как и к законам природы.

Роль математики в естествознании: основные этапы, направления и границы применения

В любом частном учении о природе можно найти науку в собственном смысле лишь столько, сколько имеется в ней математики.

И. Кант

Крупнейший математик XX в. академик *А.Н. Колмогоров* отмечал, что не существует пределов проникновения математического аппарата в какие-либо частные науки. «Принципиальная область применения математического метода, – подчеркивал Колмогоров, – неограниченна: все виды движения могут изучаться математически».

С момента своего зарождения математическое знание обнаруживало тенденцию к всеобщности. *Пифагор* и его последователи либо отождествляли числа с самими вещами, либо в числах видели сущность и причины вещей, арифметизируя все существующее, в том числе человека, весь космос и т.д. Числа мистифицировались, им придавался божественно-религиозный смысл, они возводились в ранг основного принципа существования мира. В концепции пифагорейцев уже содержалась идея универсальности математики и будущей математизации научного знания, идея, которая не могла быть правильно развернута более двух тысячелетий тому назад даже выдающимися мыслителями того времени.

В Новое время всеобщность математики занимает мысли *Декарта* (см. его «Правила для руководства ума»), который полагал, что «должна существовать некая общая наука, объясняющая все, относящееся к порядку и мере, не входя в исследование никаких частных предметов, и эта наука должна называться... именем всеобщей математики, ибо она содержит в себе все то, благо-

даря чему другие науки называются частями математики». «Всеобщая математика» Декарта – это не современная ему математика, а наука будущего, идеал, к которому может стремиться математическое знание, развивая свои универсально-общенаучные черты, исследуя порядок и меру. Великий философ и математик акцентировал свое внимание на возможной общенаучности математического знания, возвышая его над другими науками. В дальнейшем идею универсальности математики снова развивал выдающийся математик Лейбниц. Философ Кант считал, что «в любом частном учении о природе можно найти науки в собственном смысле лишь столько, сколько имеется в ней математики».

Однако только во второй половине XX в. успехи прикладной математики и современной информатики позволили возродить на новой основе и оправдать идеи тех мыслителей, которые говорили об универсальном характере математики. Сейчас, когда процесс математизации охватил естественные, технические и общественные, фундаментальные, прикладные и другие науки и обнаружил свою результативность, общенаучность математического знания заявила о себе достаточно определенно.

Рассмотрим основные особенности математики как общенаучного феномена и ее интеграцию, взаимодействие в этом качестве с частными науками на пути математизации знания.

Что изучает математика? Еще недавно считалось, что эта наука изучает количественные отношения и пространственные формы действительности. Данная концепция уже выделяет математику из других наук, исследующих определенный фрагмент природы, общества или мышления. Математика в этой интерпретации изучает не какую-то часть, фрагмент действительности, а определенную ее сторону, аспект, который имманентно присущ всем формам движения материи и отображающего их мышления. Поэтому интерпретация математики как отражения определенных сторон действительности уже нацеливает на понимание математики как достаточно широкой отрасли знания, принципиально отличной от иных частных наук.

В последнее столетие в математике произошли изменения, которые рас-

ширили предмет и методы ее исследования и выделили ее из частных наук. Математика отличается от частных, в особенности опытных наук прежде всего тем, что она не акцентирует внимание только на пространственных и количественных отношениях действительности. Она исследует и другие аспекты как внешнего мира, так и нашего мышления, мира идеального, и не только отражает, но и творит его. Это дало основание считать, что математика определяется не предметом своего исследования (который все обогащается и усложняется), а методом, представляя собой всего лишь специфический язык для логико-символической обработки данных других наук.

Однако странно было бы считать, что математика не имеет своего предмета и выступает лишь как метод для других наук. Для внешнего использования математика действительно выступает как метод, средство исследования, а внутри себя она все-таки занята поисками своего предмета, с тем чтобы в ходе математизации превратить его в метод. И это доказывает сама эволюция математического знания. Отличие математики от естествознания (эмпирического в своей основе) связано и с тем, что ее аксиомы должны быть логически непротиворечивы, а требования истинности, очевидности, наглядности и опытного подтверждения к ней неприменимы. Старые математические теории не отвергаются новыми, более общими (несмотря на изменения языка, исследовательских направлений и программ, концептуальных приоритетов), и математическое знание все время накапливается, то есть развивается кумулятивно.

Когда речь идет о специфических особенностях современной математики, о выяснении ее предмета, метода и перспектив, необходимо остановиться на трех ее чертах, или направлениях развития, которые в значительной степени определяют ее лицо. Во-первых, имеется в виду ныне доминирующий структурный подход, то есть взгляд на всю математику как на совокупность определенных математических структур, основанный на традиционном еще со времен Кантора теоретико-множественном подходе. Во-вторых, это теоретико-категориальный подход, развивающийся всего лишь в последние десятилетия, но за это время успевший заявить претензии на статус «начал» современной

математики. И хотя он не столь широко признан, как структурный теоретико-множественный подход, но обладает большим идейным зарядом для движения математического знания. В-третьих, это кибернетизация и информатизация современной математики, развитие дискретной математики и широкое использование, особенно в прикладных целях, компьютеров.

Изменения в современной математике существенно повлияли на понимание ее предмета. Это прежде всего касается понятия «количественные отношения», в которое стали включать, кроме величин и пространственных отношений, также понятие «математическая структура».

Предмет любой науки, в том числе и математики, отличается от объекта познания тем, что изучаются определенные особенности последнего. Математическое познание из всего реального мира выделяет лишь аспект количества, формы, пространства, отражения, связи и исследует его специфическими приемами, создавая свои особенные абстракции, все более адекватно отображающие объект исследования. Следует заметить, что математические абстракции в процессе своего развития, появления новых уровней понятий развертывают качественно новые свойства математического познания. С одной стороны, по-прежнему идет более глубокое изучение количественных отношений действительности, формирование все более общих и инвариантных «количественных» абстракций. С другой стороны, новые «количественные» абстракции обнаруживают все более глубокую связь с теми общими элементами качества и содержания, которые находятся в неразрывном единстве с количественными отношениями. Отвлеченность математики от конкретного содержания приводит к тому, что она исследует не только метрические отношения или какие-то абстрактные символические структуры и категории, а любое содержание, поддающееся логическому, дедуктивному анализу.

Отвлеченность от содержания – это своеобразие математики, ее отличие от естествознания и другого эмпирического знания, акцентирующего внимание на содержательных закономерностях и тенденциях объекта познания. Этим объектом, как и в философии, и в науке в целом, является весь Универсум в его

материальных и идеальных формах. Однако сама по себе математика в отношении к Универсуму – это лишь особый символический язык и метод, в аксиоматической форме изучающий модели, операции, мысленные конструкции и процедуры, которые могут дать новое знание о полученной из других наук информации. Сфера математического творчества – это скорее создание особых мыслительных конструкций, своего рода «самоотражение», а не отражение только того, что существует вне математики. И это особенно стало понятным после появления теории математических категорий.

«Самодостаточность» математики, требующая только непротиворечивости ее теорий, оказывается как ее преимуществом, так и недостатком в том смысле, что сама по себе математика, чтобы считаться наукой в подлинном смысле, должна выходить за свои пределы, в особенности в сферу эмпирического знания. Иначе говоря, математика без математизации других наук в принципе существовать не может как социокультурный феномен. Это своего рода системный подход к науке как целостному явлению, а не простой сумме отдельных ее дисциплин. Математика связывает их в единое и универсальное целое, демонстрируя свою всеобщность, универсальность и общенаучность.

Таким образом, становится понятно, почему математика с самого своего зарождения претендовала на универсальность в системе научного знания. Эта всеобщность и общенаучность оказалась связанной с тем, что акцент в математическом знании был сделан не на содержании, а на форме, причем, как в самом предмете математики, так и в ее методах, позволяющих гораздо более глубоко проникнуть в содержание за счет имманентно существующей связи формы и содержания.

Исследование формы самой по себе, в отвлечении от содержания, с помощью особых символических дедуктивных систем показало возможность получения более глубокого знания и в области содержательных теорий (физических, химических и др.). Поэтому наиболее предпочтительным представляется определение предмета математики, данное *А.Д. Александровым*: «В общем в предмет математики могут входить любые формы и отношения действительно-

сти, которые объективно обладают такой степенью зависимости от содержания, что могут быть от него полностью отвлечены». К этому можно добавить определение математики по *Бурбаки* (Н. Бурбаки – коллективный псевдоним группы математиков, созданной в 1935 г. для издания серии книг, отражающих состояние математики того времени), в котором утверждается, что в аксиоматической форме математика представляет собой скопление абстрактных форм – математических структур.

Развитие математики и математизация других наук – это глубоко взаимосвязанные процессы. Математика как система математических структур и категорий не может развиваться, не снабжая своими средствами и логико-символическим потенциалом содержательное научное знание. В свою очередь «содержательные» науки, и прежде всего физика, химия и биология, позитивно влияют на математику как науку, имеющую свой предмет и метод, способствуя ее развитию.

Выходя за пределы своей логико-символической автономности и самодостаточности, математика из предмета деятельности ученого часто превращается в эффективный метод как упорядочения, так и приращения нового научного знания. Именно процесс применения средств математики в любой области естественнонаучного знания и составляет суть расширяющегося процесса математизации науки, имеющего интегративный характер и порождающего новое знание. Математизация науки наглядно подтверждает тезис о том, что новое знание наиболее часто возникает на путях взаимодействия научных дисциплин.

Математизация научного знания проявляется в различных формах. Во-первых, она выражается в переносе методов (используемых при систематизации и формализации) в другие области науки. Во-вторых, она проявляется в форме количественного анализа и выражения качественно установленных эмпирических данных с целью их использования для формулировки числовых законов. В-третьих, ее формами могут быть математические модели или специальные математические ветви различных наук, например математической психологии, математической лингвистики или эконометрики.

На современном этапе математизация знания в значительной степени за-

висит от использования средств, и, по-видимому, это представляет основное направление. Кроме математики и математизируемой дисциплины оно включает информатику с ее методами и техническими средствами познания. Математизация знания с помощью ЭВМ также имеет различные этапы и составляющие. Использование компьютеров для оптимизации процессов обработки результатов измерений представляет одно из важнейших направлений математизации и является самым простым проявлением математизации с помощью ЭВМ. Подлинная математизация знания на пути «компьютеризации», по мнению советского кибернетика *В.М. Глушкова*, происходит тогда, когда компьютеры используются вместе с соответствующим сложным дедуктивным аппаратом и логическими исчислениями, а также для поиска новых закономерностей, создания специального формализованного языка науки и построения более фундаментальных теорий.

Некоторые ограничения использования формально-математических методов следуют из теорем Геделя. Эти теоремы показывают невозможность полной формализации сложных процессов и результатов человеческого мышления, они обычно трактуются как серьезные ограничения математизации научного знания. Обобщая теоремы Геделя и упрощая их доказательства, Глушков показал, что эти ограничения снимаются не только в процессе создания более сложных формальных систем, охватывающих большую часть содержания математизируемого фрагмента исследования. Если мир бесконечен в информационном отношении, то невозможно создать такую формальную теорию, которая содержала бы в принципе непостижимые, недоказуемые выводы. Выводы недоказуемы лишь в том случае, когда мы используем конечное количество информации, уже имеющееся в абстрактном мышлении, полученное из внешнего мира в результате практики.

При выяснении границ математизации необходимо иметь в виду и то, что математический язык имеет свои естественные пределы. Вообще абстрактное мышление само ограничено, если оно изолировано от внешнего мира; если же изоляция нарушается и появляется связь с внешним миром, то эти ограничения

снимаются. Хотя математизация исторически ограничена, ее пределы подвижны и условны и в конечном счете определяются единством строгих и нестрогих, формальных и содержательных методов. Взаимодействие математики с другими науками в ходе математизации, а также всей науки с внешним миром в процессе практической деятельности будет все больше раздвигать границы использования средств математики. Таким образом, синтез знания, осуществляемый в ходе математизации, порождает новые возможности как применения средств математики, так и обогащения этих средств новыми особенностями.

Ограничения использования математики в общественных науках связаны с тем, что в самой математике пока еще нет достаточно развитых средств для эффективного ее применения в социальном знании. Несмотря на принципиальную общенаучность, математика наиболее тесно взаимодействует с науками о неживой природе. Но на современном этапе происходит усиление взаимодействия между математикой и науками о живой природе и обществе. Другие ограничения обусловлены природой социальной формы движения и ее чрезвычайной сложностью по сравнению с явлениями природы. Объективных препятствий для математизации общественных наук гораздо больше, чем для естественных и технических. Но из этого вовсе не следует скептическое отношение к возможностям математизации этих отраслей знания. Наибольшие надежды в плане математизации социально-гуманитарного знания могут быть связаны с «информатизированной» математикой.

Необходимо также иметь в виду, что, как и любой процесс развития знания, математизация сопровождается определенными издержками и негативными последствиями. Известно, что язык и методы математики иногда использовали для доказательства разного рода ложных идей и теорий. Математические понятия в силу их абстрагирования от конкретного содержания исследуемых объектов могут подвергаться определенным манипуляциям, предполагающим не поиск истины, а иные, отстоящие далеко от нее цели. Это заметил еще Гёте, который в шуточной форме писал, что «искусство хитрое цифири нас учит: дважды два четыре – и помогает нам понять, как ложь за истину принять». Все

эти рассуждения о границах математизации свидетельствуют о необходимости исследования ее эффективности и целесообразности, что означает отказ от упрощенного представления о ней как только о благе, требует управления процессом математизации для исключения ее отрицательных последствий и эффектов.

Позитивное же направление математизации научного знания, выступающей в качестве интегративно-общенаучного процесса, в ходе своего развития порождает синтез знаний между различными науками, теориями и другими формами и средствами познания. Интегративные потенции математики тесно связаны с природой математических абстракций, которые отвлекаются от конкретной природы исследуемого объекта. Поэтому, когда применяется определенная математическая теория (предположим, статистическая теория информации) к конкретному объекту исследования (например, к процессу передачи сообщений по техническим каналам связи), она не может быть применена ко многим другим объектам (передаче информации в генетических биологических системах, между общающимися животными, людьми, человеком и машиной и т.д.).

Возможности математических моделей исследуемых объектов не ограничиваются обычно пределами первоначальной области применения, их сфера применения постепенно расширяется. Через математический аппарат происходит трансляция содержательных идей, ранее связанных с этим аппаратом, который выступает своеобразным мостом, с помощью которого осуществляется движение знания из одной области науки в другую, генерируя новые идеи.

Понятия пространственных форм, количественных отношений, математических структур, категорий и т.д. отражают достаточно существенные аспекты математики как науки, у которой есть не только свой предмет, но и метод. Математика как метод выступает в качестве своего рода вторичной науки, направленной на обслуживание других наук, например физики, имеющей конкретный материальный объект и стимулировавшей развитие математического знания. Именно это создало иллюзию включения математики в науки, где

наблюдение и эксперимент играют решающую роль. Однако математика не основывается на опытных фактах и общественной практике в той же степени, что и опытное естествознание, она может творить свою виртуально-теоретическую реальность и без них, может предшествовать какой-либо опытной теории, но может и не находить ее в течение длительного времени. Все же есть одна новая форма практики, где математика создает свой эксперимент. Это так называемый математический эксперимент (или имитационное моделирование), который возник на пути информатизации научного знания и являет собой одну из форм интеграции математики и кибернетики.

Математический эксперимент, как отмечал В.М. Глушков, «занимает промежуточное место между классическим дедуктивным и классическим экспериментальным методами исследования. Его появление привело к новой философской проблеме – необходимости переосмысления не только предмета математики, но и метода математического исследования». Не вдаваясь в детали этого метода, рассмотрим некоторые вопросы, связанные с расширением предмета математики. Глушков отмечает, что математики уже давно включили в состав своей науки ряд теорий и дисциплин, имеющих дело не только с пространственными (геометрическими) или количественными характеристиками. Это обстоятельство связано с тем, что для объектов, изучаемых математической логикой, довольно хорошо развит аппарат дедуктивных построений; здесь имеются утверждения достаточно общего характера, выражаемые теоремами и леммами. В случае же метода математического эксперимента подобный аппарат практически еще не получил развития. Но на огромное качественное разнообразие объектов исследования в различных областях знания математика отвечает адекватными возможностями расширения используемого ею аппарата дедуктивных построений. Важную роль при этом играют компьютеры, позволяющие автоматизировать дедуктивные построения и увеличить производительность интеллектуального труда ученых.

Метод математического эксперимента, существенно умножающий мощность экспансии математики в другие науки, свидетельствует о сущности влия-

ния информатики на развитие математики, о появлении новых существенных связей между математикой и кибернетикой (информатикой), связей, расширяющих и интегрирующих их первоначальные, традиционные предметы исследования. Благодаря применению мощных компьютеров стало возможным более полноценное математическое моделирование как для внутренних, так и для внешних потребностей, поскольку не нужно было упрощать математические модели при использовании их в естественнонаучных теориях и при обработке эмпирических данных. В частности, успехи космонавтики во второй половине XX в. обязаны информатизации вычислительных работ. С помощью математического эксперимента можно провести значительно большее количество вычислительных процедур, используя колоссальную память и быстродействие ЭВМ, и создать оптимальную математическую модель для решения той или иной научной проблемы. Особенно это касается глобальных проблем человечества, которые в принципе не могли быть решены традиционными методами. Математический эксперимент в естественнонаучных исследованиях дал мощный импульс развитию всех наук о неживой и живой природе, поднял их на качественно новый уровень, способствовал созданию более глубоких теоретических концепций и получению нового научного знания. Вместе с тем информатизация математических средств привела как к совершенствованию традиционных методов, так и к включению в арсенал математики новых типов моделей, а также множества программ и алгоритмов. Математика настолько соединилась с информатикой, что произошла «утечка мозгов» из традиционной математики в информатику, особенно в программирование, и это стало самым мощным направлением математизации научного знания.

Концепции естествознания в физике

Мы ясно чувствуем, что только теперь начинаем приобретать надежный материал для того, чтобы объединить в одно целое все то, что нам известно.

Э. Шредингер

3.1. Понятие материи. Структурные уровни организации материи

Понятие «материя» (лат. *materia*) многозначно. Наиболее часто материю определяют как объективную реальность, данную нам в ощущениях как непосредственно, так и косвенно. Эмпирическому изучению доступна лишь ее ограниченная часть. На сегодняшний день это объекты, размерные характеристики которых соответствуют 10^{-16} – 10^{28} см, а время существования достигает 2×10^9 лет.

Всеобщими свойствами материи – ее *атрибутами* – являются движение, пространство и время, связь, взаимодействие и некоторые другие, важнейшие из которых – структурность и системная организация.

Согласно *системному подходу* любой объект материального мира может быть рассмотрен как сложная структура, состоящая из подсистем, между которыми устанавливаются вертикальные и горизонтальные связи. В то же время важным свойством системы является ее целостность, эмерджентность, то есть наличие новых, интегративных свойств, отсутствующих у элементов, ее составляющих.

Важным методологическим научным принципом является расчленение познаваемой реальности на *структурные уровни*. Познаваемая реальность настолько многообразна, а знаний о различных ее областях накоплено столько,

что уложить все в рамки одной науки, как натурфилософия в античности, уже невозможно. Сегодня каждая наука имеет свой предмет познания.

Выделение структурных уровней производят по различным признакам, таким как пространственно-временные масштабы, совокупность важнейших свойств, специфические законы движения, степень относительной сложности, возникающей в процессе исторического развития материи в данной области мира. Так, в самом общем виде принято выделять два больших класса материальных систем: системы неживой и живой природы.

Структурными уровнями неживой природы являются: субмикроэлементарный (вакуум, поле, кварки); микроэлементарный; ядерный; атомарный, молекулярный; макроуровень, мегауровень (планеты и планетные системы; звезды и звездные системы; галактики); метауровень (метегалактика и Вселенная). В живой природе выделяют два важнейших структурных уровня организации материи – биологический и социальный. Биологический уровень включает: доклеточный уровень (белки и нуклеиновые кислоты); клетку как «кирпичик» живого и одноклеточные организмы; многоклеточный организм, его органы и ткани; популяцию; биоценоз; биосферу. На определенном этапе развития биосферы, согласно эволюционной концепции, возник разум, на основе которого сформировался социальный структурный уровень материи. На этом уровне выделяются индивид, семья, коллектив, социальная группа, класс и нация, государство, цивилизация, человечество в целом.

Наиболее часто в литературе встречается принцип расчленения материального мира по пространственно-временному критерию. Согласно ему принято выделять три уровня: микромир, макромир и мегамир.

Микромиром называют совокупность материальных объектов очень малых величин: от 10^{-8} до 10^{-16} см, время жизни которых простирается от бесконечности (стабильные частицы) до 10^{-24} секунды (резонансы). Это атомы, ядра атомов, элементарные частицы. Особенности материи на этом уровне изучаются современными физическими методами; причем максимальная разрешающая способность известных в настоящее время физических приборов составляет

приблизительно 10^{-18} м. Порядок в микромире поддерживается за счет слабого и сильного взаимодействий (о типах взаимодействий в природе речь пойдет далее).

Макромир представлен совокупностью макрообъектов, пространственно и темпорально соизмеримых с человеком и его опытом. *Макроскопический уровень* – это макротела, начиная с коллоидных частиц (10^{-7} м) и кончая объектами, с размерами которых человек постоянно контактирует в процессе своей жизнедеятельности (от миллиметров до миллионов километров), а время их существования выражается в секундах, минутах, часах, годах, веках. Макротела могут находиться в четырех агрегатных состояниях: газообразном, жидком, твердом и плазме. Объекты макромира изучаются большим количеством различных наук: отраслями физики, биологии (в том числе и молекулярной), химии, геологии и т.д. За структуру макромира отвечает главным образом электромагнитное взаимодействие.

Мегамир представляет собой объекты космического масштаба (кометы, метеориты, астероиды, планеты, Солнечная система, звезды, так называемые черные дыры, галактики и их скопления), расстояния в которых измеряются астрономическими единицами, световыми годами и парсеками (до 10^{28} см), а время существования космических объектов – миллионами и миллиардами лет. За упорядоченность структур Вселенной отвечает прежде всего гравитационное взаимодействие.

Все три структурных уровня материи взаимосвязаны и составляют единый континуум, но тем не менее каждый из них подчиняется «своим» закономерностям.

В настоящее время науке известно две формы существования материи, две ипостаси: вещество и поле, которые теснейшим образом взаимосвязаны и определяют свойства друг друга.

3.2. Предмет физических наук

Физика (греч. *physis* – природа) как одна из фундаментальных наук в

естествознании изучает как простейшие, так и наиболее общие свойства материального мира. Поэтому строго научное определение физики как совокупности различных областей знаний о природных объектах, явлениях и процессах (астрофизика, теоретическая физика, физика твердого тела, газов и жидкостей, химическая физика, биологическая физика, радиофизика и электроника, медицинская физика и т.д.) дать довольно трудно. Более целесообразно определять предмет физических исследований и с большой уверенностью считать, что главной задачей физики является установление наиболее общих и универсальных законов, описывающих движения вещества и поля и дающих возможность построить естественнонаучную картину мира. *А.Ф. Иоффе* (1880–1960) определял предмет физики как общие свойства и законы движения вещества и поля. Кроме того, из результатов многочисленных исследований можно сделать вывод, что физика изучает одновременно и самое простое, и самое сложное в природе.

Физика как наука, изучающая наиболее фундаментальные закономерности материального мира, занимает особое место в системе естественных наук, так как именно ее законы являются основой современного естествознания. Физические закономерности имеют универсальный характер, то есть особенности любой материальной системы, обладая своей спецификой (химическая, геологическая, биологическая и т. д.), основываются на законах природы, выявляемых физикой. Разумеется, что более высокоупорядоченный (биологический) уровень материи отнюдь не сводится просто к физическому уровню. Однако именно в процессе такого сведения были достигнуты наиболее конструктивные результаты в химии (квантовая химия) и в биологии (молекулярная генетика).

К основным разделам теоретической физики относятся классическая и квантовая механика, классическая и квантовая электродинамика, равновесная и неравновесная термодинамика, статистическая физика, специальная и общая теории относительности, квантовая теория поля и другие. Существенное развитие получили и такие направления физических исследований, как ядерная физика, физика элементарных частиц, физика плазмы, физика твердого тела, фи-

зика высоких и низких температур и давлений, физика высоких энергий и т.д. Фундаментальные разработки привели к радикальным технико-технологическим открытиям в сфере прикладной физики – ядерной энергетики, радиолокации, микроэлектроники и т.п.

Изучая фундаментальные закономерности объективной реальности и обладая необходимыми теоретическим аппаратом и эмпирическими методами, физика стала наиболее развитой областью современного научного знания. Использование физико-математического аппарата и физических методов исследования другими науками существенно повышает их статус в динамике познавательного процесса. Закономерности материального мира, устанавливаемые физикой, представляют собой систему утверждений (гипотезы, принципы, теории, законы), дающих идеализированное представление о физических объектах. Совокупность этих утверждений формирует *физическую картину мира*, то есть идеальную модель природы, соответствующую конкретным, исторически обусловленным этапам развития естественнонаучного познания и стилям естественнонаучного мышления. Физическая картина мира основывается на складывающихся представлениях о веществе и формах его проявления, о физических силовых полях, о специфике пространственно-временных отношений, о понимании сущности движения и причинно-следственных связей.

Физическая картина мира лежит в основе современной естественнонаучной картины мира. В истории естествознания принято выделять несколько этапов ее развития: натурфилософскую (атомизм и аристотелизм), классическую (механистическую и электромагнитную), неклассическую и современную (постнеклассическую) картину мира.

3.3. Натурфилософская картина мира

На протяжении многих лет особенности природы объяснялись на основе общих философских представлений и принципов, которые были объединены понятием «натурфилософия». Ее основоположники строили свои представления о природных объектах, явлениях и процессах на основе гипотез и предпо-

ложений. Отметим достижения некоторых представителей натурфилософии, не только крайне важные для того времени, но и используемые в современном естествознании.

По мнению большинства исследователей истории науки, первой научно-философской школой была школа *Пифагора* (584–500 гг. до н. э.). Важнейшей идеей пифагорейцев было понимание *числа* как основы мироздания. В работах Пифагора и его учеников были заложены принципы арифметики, основы теории чисел (в частности, учения о четных и нечетных, простых и сложных числах, делимости чисел, введены понятия среднего арифметического и геометрического) и геометрической алгебры. Именно Пифагор впервые ввел слово «космос», представил Землю в виде шара, объяснил солнечное затмение прохождением Луны между Солнцем и Землей, а наличие времен года – наклоном земной орбиты. Кроме того, мировая культура обязана Пифагору основами теории музыки: он математически описал музыкальные интервалы, в частности терцию, кварту, квинту и октаву. Греческий мыслитель одним из первых диалектически описал гармонию природы равновесием таких противоположностей, как предел и беспредел, чет и нечет, единство и множество, правое и левое, покой и движение, прямое и кривое, свет и тьма, женское и мужское, добро и зло. Таким образом, значение Пифагорейского союза в истории естествознания состоит в утверждении единства качественного и количественного многообразия объектов природы, а именно: свойства каждого предмета и явления имеют определенную меру, которая выражается числом и определенной гармонией.

Демокрит (460–370 гг. до н. э.) впервые предложил корпускулярную концепцию материи. Его считают основоположником античного материализма. По его мнению, реальный мир состоит из бытия и небытия. Небытие – это пустота, которая неподвижна, бесконечна и от которой не зависят свойства находящихся в ней тел. Напротив, бытие состоит из самостоятельных мельчайших частиц вещества – *атомов*, которые не возникают и не погибают, они непроницаемы, неделимы, нейтральны, различаются величиной, формой (шарообразные, вы-

пуклые, вогнутые и т.п.), определенным расположением и порядком. Концепция атомизма Демокрита явилась одной из самых плодотворных с точки зрения представлений о структуре материи и привела к формулировке принципа детерминизма (причинности), который, с одной стороны, отождествлял причинность и необходимость, а с другой – отвергал существование случайности.

Платон (428–348 гг. до н. э.) создал математическую программу. Развивая представления Пифагора, главную роль в своей концепции Платон отводил математике, считая число основным ключом к познанию природы. Несмотря на то что натурфилософия Платона пронизана математическими образами и аналогиями, в отличие от Пифагора он считал космос неоднородным и разделял его на мир идей (высший) и мир вещей (земной). Первый мир (материальный) – это множество постоянно изменяющихся в сознании человека вещей. Второй мир – это множество общих и неизменных сущностей (идей, понятий и т.п.), постигаемых не чувствами, а разумом. Противоречия в природе (то есть результаты, полученные при наблюдениях за разными явлениями и предметами) он объяснял наличием этих двух миров.

Аристотелю (384–322 гг. до н. э.) принадлежат сотни работ в области философии, логики, психологии, политики, этики, эстетики и естествознания. Будучи учеником Платона, он во многом был не согласен с учителем: «Платон мне друг, но истина дороже». Его работа «О душе» до сих пор считается классическим трудом по психологии, а написанная им книга «Физика» позволяет считать его одним из основоположников физических наук.

Главное место в его работах занимают учения о материи и форме, а также о движении как качественном и количественном изменении положения тел в пространстве. Согласно первому учению каждая отдельная вещь есть соединение материи и формы, а материя сама по себе – хаотическая субстанция. В отличие от Демокрита и Платона Аристотель построил *континуальную* картину мира (противоположную атомистической, корпускулярной). Механическое движение он разделял на три типа: круговое (причиной которого является неподвижный Перводвигатель, и поэтому оно присуще всем небесным телам),

естественное (движение тяжелых тел вниз и легких вверх) и насильственное (движение тел под действием внешних сил).

Аристотель заложил основы развития европейской науки на два тысячелетия вперед. Аристотелевско-птолемеевская концепция мироздания (геоцентрическая) впервые будет опровергнута Н. Коперником только в XVI в., но просуществует в науке еще полтора столетия; континуальная концепция описания материи сдаст позиции в XVIII в., а затем вновь воскреснет в электромагнитной. Метафизический метод исследования, заложенный греческим мыслителем, просуществует до середины XIX в. Современная формальная логика происходит в конечном счете из аристотелевской.

Принципиально новый этап в развитии математики связан с деятельностью *Эвклида* (первая половина III в. до н. э.), который в своих двух фундаментальных трудах «Начала» и «Оптика» рассмотрел проблемы геометрии на плоскости, создал основы планиметрии и стереометрии, сформулировал принципы, которые впоследствии явились фундаментом в развитии геометрической оптики.

Архимед (287–212 гг. до н. э.) был выдающимся математиком, механиком и инженером. Одним из наиболее важных его открытий является закон о рычагах. Им было введено понятие «момент сил», построена модель небесной сферы, разработаны основы математической физики, определено число «пи» (равное 3,14), получены выражения, которые позволили вычислять площади поверхностей и объемы тел различной формы (шара, эллипса, конуса и др.), сумму геометрической прогрессии, положение центров тяжести треугольника, параллелограмма, трапеции и других фигур. Наконец, Архимед сформулировал закон, лежащий в основе современной гидро- и аэростатики: «Тела, более тяжелые, чем жидкость, и опущенные в эту жидкость, станут легче на величину веса жидкости в объеме, равном объему погруженного тела».

Анализ перечисленных достижений начального этапа развития естествознания позволяет сделать общий вывод. Древнегреческая натурфилософия была основана на концепции единства всего сущего, то есть происхождении всех

вещей из какого-то единого начала (например, воздуха, воды, огня и т.п.) и на идее о всеобщей одушевленности материи. Развитие натурфилософских представлений происходило вплоть до конца XVI – начала XVII в., и общим характерным процессом развития естествознания в этот период явился переход от концепции антропоцентризма к геоцентризму и затем к гелиоцентрической системе мира. При этом развитие основных принципов натурфилософии (а в некоторых случаях отказ от них) связано прежде всего с введением экспериментальных методов исследования в естествознании.

3.4. Механистическая картина мира

Вторым важнейшим этапом формирования естественнонаучной картины мира, значительно более близким к современному, является так называемая механистическая картина мира. Механистическая концепция берет свое начало в науке Возрождения. Одним из первых ее разработчиков нужно считать выдающегося деятеля этой эпохи *Леонардо да Винчи* (1452–1512), который был не менее великим естествоиспытателем. В области ботаники он открыл закон, по которому располагаются листья на стебле, разработал способ определения возраста дерева по годовым кольцам и создал атлас растений (используемый в определенной степени и в настоящее время). В области анатомии он описал клапан правого желудочка сердца, предложил модели мозга, сердца и глаза. Изучая закономерности геометрической оптики, он представил глаз линзой, благодаря чему получается перевернутое изображение объекта. В геологических исследованиях были описаны морские отложения и процессы образования осадочных пород. Наконец, в механике Леонардо да Винчи отличился тем, что им были сконструированы модели планера, гусеничного трактора, вертолета и многие другие технические агрегаты, воплощенные в жизнь лишь в XX в.

В развитие механистической картины мира весомый вклад внесли польский астроном *Николай Коперник* (1473–1543), первым изложивший гелиоцентрическую систему мироздания, а также итальянский естествоиспытатель *Джордано Бруно* (1548–1600). В труде Коперника «О вращении небесных

сфер» изложена математическая теория движений Солнца, Луны, некоторых планет и звезд. Возможность перехода от геоцентризма к гелиоцентризму была основана на идее об относительном характере движения. Именно представления о подвижности Земли и о движении всех планет как единой системы стали главными принципами в учении Коперника. Мировоззренческое и методологическое значение созданной Коперником гелиоцентрической концепции состоит в том, что она научно обосновала особенности многих астрономических явлений (в том числе смену времен года, петлеобразные движения планет и т.д.), полностью отвергла представление о геоцентрической системе мира, явилась одной из основ создания классической механики.

Одним из главных научных трудов Бруно является монография «О бесконечности Вселенной и Мирах» (1584). В ней утверждается бесконечность Вселенной, однородность ее строения, предполагается возможность наличия в ней многочисленных небесных тел (в том числе солнц и планет, а также самосветящихся и темных звезд), существование непрерывного обмена энергией и веществом между небесными телами, неизменность первичной материальной субстанции, лежащей в основе всех тел и явлений. Такие смелые воззрения человека, активно критиковавшего церковных служителей, привели к тому, что 17 февраля 1600 г. Бруно был сожжен на площади Цветов в Риме.

Несмотря на неоспоримые достижения этих ученых, создание механистической концепции в большей степени связано с такими именами, как Г. Галилей, И. Кеплер и И. Ньютон.

Основная заслуга *Галилео Галилея* (1564–1642) состояла в том, что он, по существу, первым из исследователей природы ввел в практику такие методы, как наблюдение, проведение эксперимента и количественная обработка полученных данных; то есть его можно считать основоположником экспериментального метода исследования природы. Так, в 1609 г. он сконструировал телескоп с 32-кратным увеличением, с помощью которого обнаружил кратеры и горы на Луне, рассмотрел пятна на Солнце, открыл Млечный Путь и четыре спутника Юпитера. Кроме того, Галилей вывел ряд фундаментальных законов

механики (например, равенство скоростей свободно падающих тел). В отличие от натурфилософов Галилей ввел понятие инерциального движения, которое означало, что любая физическая система либо находится в покое, либо движется равномерно и прямолинейно (естественно, при отсутствии воздействия на тело внешних сил). Вместе с тем Галилей разделил понятия равномерного и ускоренного движения, определил ускорение как скорость изменения скорости, показал, что ускорение является результатом действия силы на движущееся тело. Наконец, он впервые сформулировал принцип относительности движения, суть которого заключается в том, что все инерциальные системы равноправны между собой в отношении описания механических процессов.

Немецкий математик и астроном *Иоганн Кеплер* (1571–1630) открыл основные законы движения планет Солнечной системы. Первый закон указывает на то, что движение планет происходит по эллиптическим орбитам. Второй закон свидетельствует о том, что движение планет по орбитам происходит неравномерно, причем скорость изменяется таким образом, что площади, описываемые радиусом-вектором за равные промежутки времени, равны между собой (закон постоянства площадей). Практическая важность этого закона состоит еще и в том, что он позволил получить уравнение для вычисления положения планеты на орбите в любой заданный момент времени. Третий закон устанавливает зависимость между периодами обращения планет и средними расстояниями их от Солнца. В математической форме эта зависимость выражается в том, что квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы средних расстояний этих планет от Солнца. Именно отсюда следует концепция, что основным источником силы, движущей планеты, является Солнце. Опираясь на идею универсальности магнетизма (свойства, присущего большинству макротел), Кеплер предложил механизм действия силы, движущей планеты; этот механизм обусловлен наличием вихря с очень большой скоростью движения магнитного поля Солнца, возникающего от его вращения. Кроме этого, Кеплер объяснил приливы и отливы океанов воздействием Луны, построил теорию и разработал способы предсказания солнечных и лунных затмений, изоб-

рел оптическую систему, используемую в современных рефрактометрах.

Фундаментальное значение результатов работ Леонардо да Винчи, Коперника, Бруно, Галилея и Кеплера заключается в том, что, во-первых, были выявлены законы движения небесных тел, которые принципиально не отличаются от законов движения земных тел, а во-вторых, эти работы значительно ускорили создание Ньютоном классической механики.

Исаак Ньютон (1643–1727) был не только выдающимся физиком, но и прекрасным математиком. Для решения основных задач механики Ньютон создал специальные варианты дифференциального и интегрального исчисления: 1) скорость была представлена как первая производная пути (расстояния) по времени и 2) ускорение – как первая производная скорости или вторая производная пути по времени. Основные законы динамики и закон всемирного тяготения Ньютон сформулировал в своей монографии «Математические начала натуральной философии» (1687), которая явилась фактическим завершением построения механистической концепции. Напомним формулировки этих четырех законов. *1-й закон*: любое материальное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние. *2-й закон*: ускорение, приобретаемое телом, пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе тела. *3-й закон*: всякое действие материальных тел друг на друга носит характер взаимодействия, а силы, с которыми действуют тела друг на друга, всегда равны по абсолютной величине, но направлены противоположно. *4-й закон* (закон всемирного тяготения) устанавливает количественную зависимость силы притяжения от масс взаимодействующих тел и от квадрата расстояния между ними.

Исходя из физического смысла перечисленных законов Ньютона, можно сделать выводы, которые и определяют характерные особенности механистической картины мира:

Для описания механического движения необходимо и достаточно знать координаты тела, его скорость и уравнение его движения в некоторый момент

времени. При этих условиях можно всегда точно определить положение тела в любой другой момент времени (то есть как в прошлом, так и в будущем).

Большинство закономерностей, наблюдаемых в природе, сводятся к механическому движению, а всю окружающую человека среду можно представить глобальной системой, будущее состояние которой однозначно определено ее предшествующим состоянием.

Движение представляет собой простое механическое перемещение, а законы движения являются фундаментальными законами мироздания. Тела движутся равномерно и прямолинейно, а причиной отклонения от такого движения является действие на них внешней силы, которая связана с одним из свойств движения тела, называемым инерцией.

Взаимодействие между телами происходит мгновенно на любом расстоянии, то есть воздействие может передаваться в пустом пространстве и с бесконечно большой скоростью, что проявляется в так называемом принципе дальнего действия. Принцип дальнего действия, который впервые ввел Декарт (1596–1650), означает, что если одно тело действует на другое, то это второе тело испытывает воздействие в тот же момент. Гравитационное взаимодействие макротел, то есть притяжение, относительно слабое (в энергетическом отношении), и его часто трудно измерить. Тем не менее Кавендишу в 1797 г. удалось экспериментально определить гравитационную постоянную, равную $6,6 \times 10^{-11} \text{ н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

Все механические процессы подчиняются принципу детерминизма (причинности), то есть из картины Мира исключается случайность.

Механистической концепции соответствует дискретная (или корпускулярная) модель реальности. Это означает, что материя представляет собой вещественную субстанцию, состоящую из атомов или корпускул, которые абсолютно прочны, неделимы, непроницаемы и характеризуются наличием массы.

Пространство трехмерно, постоянно и не зависит от свойств материи; время также не зависит ни от пространства, ни от материи; пространство и время непосредственно не связаны с движением тел, то есть имеют абсолютный

характер.

И макромир, и микромир подчиняются одним и тем же механическим законам, что также означает универсальность механистической концепции.

3.5. Электромагнитная картина мира

Электрические и магнитные явления были известны давно, еще в древние века. Однако взаимосвязь между этими физическими явлениями была установлена только в XIX в. в результате работ таких естествоиспытателей, как датчанин *Ганс Кристиан Эрстед* (1777–1851) и англичане *Майкл Фарадей* (1791–1867) и *Джеймс Клерк Максвелл* (1831–1879). На это указывали следующие факты: отклонение магнитной стрелки над проводником с электрическим током, возникновение электрического тока при вращении замкнутого контура в магнитном поле и другие. Эти экспериментальные данные позволили сделать фундаментальные выводы о том, что кроме сил гравитации существует по крайней мере еще одно физическое силовое поле – электромагнитное, а также принципиально возможно возникновение и других силовых полей, отличающихся по своей природе от известных.

Источниками электрического поля являются как сами электрические заряды, так и переменное во времени магнитное поле. При этом основой взаимодействия точечных электрических зарядов является закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов зависит от свойств среды (в частности, от диэлектрической проницаемости), прямо пропорциональна произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Формально закон Кулона аналогичен (по математической форме) закону всемирного тяготения; однако принципиальное отличие состоит в том, что сила гравитации всегда является силой притяжения; в данном же случае притягиваются только разноименные заряды.

Создателями учения об электромагнитном поле являются М. Фарадей, Дж. Максвелл и *Г. Лоренц* (1853–1928). Они ввели понятия напряженностей электрического и магнитного полей, описали явления электромагнитной ин-

дукции и самоиндукции, открыли законы электролиза, указали на колебательный характер распространения электрической и магнитной энергии, создав в конечном счете электродинамику диэлектриков. Из теории электромагнитного поля следует, что его энергия распространяется в окружающей среде в виде электромагнитных волн, причем скорость такого распространения является максимально возможной скоростью передачи энергии в природе и равна $\sim 300\,000$ км/с.

Таким образом, особенности электромагнитной концепции можно охарактеризовать следующим образом:

1. Электромагнитные представления позволили предложить полевую, *континуальную* (непрерывную) модель реальности:

– существует еще один вид материи (помимо вещества, имеющего корпускулярную структуру) – единое непрерывное поле с точечными силовыми центрами, являющимися электрическими зарядами и волновыми движениями в этом поле;

– окружающая природная среда – это электродинамическая система, построенная из электрически заряженных частиц, которые взаимодействуют между собой посредством электромагнитного поля.

2. Возникновение (или изменение) электромагнитного поля ведет к появлению (или к изменению) магнитного поля, и наоборот.

3. Передача энергии полем происходит от точки к точке непрерывно и с конечной скоростью, что проявляется в принципе близкодействия: взаимодействие электрических зарядов возникает не мгновенно, то есть каждая электрически заряженная частица создает электрическое поле, действующее на другие частицы не в тот же момент, а спустя некоторое время. Таким образом, взаимодействие передается через посредника, которым является электромагнитное поле, что и выражается в принципе близкодействия.

4. Движение представляет собой распространение колебаний в пространстве и во времени, которые описываются законами электродинамики.

5. Вся окружающая человека среда пронизана электромагнитными вол-

нами, свойства которых обусловлены диапазонами их длин и частот (табл. 3.1).

6. Электромагнитная концепция предполагает относительность пространства и времени, так как они непосредственно связаны с процессами, происходящими в электромагнитном поле.

Таблица 3.1

Шкала электромагнитных волн

Название диапазона ЭМ волн	Частоты, Гц	Длины волн, м	Основные области применения
Радиоволны	$3 \times 10^5 - 3 \times 10^7$	$10^3 - 10$	Радиосвязь
Метровый	$3 \times 10^7 - 3 \times 10^8$	$1 - 10^{-2}$	Телевидение
СВЧ (дециметровые и сантиметровые волны)	$3 \times 10^8 - 3 \times 10^{10}$	$1 - 10^{-2}$	Радиолокация, космическая связь, технологические процессы
КВЧ (миллиметровый)	$3 \times 10^{10} - 3 \times 10^{11}$	$10^{-2} - 10^{-3}$	Радиолокация, астрономия, системы управления, биология и медицина
Терагерцовый (субмиллиметровый)	$3 \times 10^{11} - 10^{14}$	$10^{-3} - 5 \times 10^{-6}$	Связь, биология и медицина
Инфракрасный	$10^{14} - 34 \times 10^{14}$	$5 \times 10^{-6} - 10^{-6}$	Локация, медицина
Видимый свет	$3 \times 10^{14} - 10^{15}$	$10^{-6} - 5 \times 10^{-7}$	Везде
Ультрафиолетовый	$10^{15} - 3 \times 10^{15}$	$5 \times 10^{-7} - 10^{-7}$	Медицина
Рентгеновский	$3 \times 10^{15} - 10^{18}$	$10^{-7} - 3 \times 10^{-10}$	Технологии, медицина
Гамма-излучение	$3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{21}$	$10^{18} - 10^{21}$	Технологии, ядерная физика, медицина

3.6. Основные достижения классической науки

Классический период развития науки (XVII–XIX вв.) подготовил возникновение современной физики. Краткая характеристика некоторых основных достижений классической физики может быть представлена следующим образом.

Была создана *классическая механика*: введены понятия количества движения; сформулирован закон сохранения момента количества движения; охарактеризовано свойство инерции, мерой которой является масса; сформулированы законы механического движения и гравитационного взаимодействия; установлено, что сила является действием, производимым над телом, с целью изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (причем сила проявляется только в действии и после прекращения действия в теле не остается). Принцип относительности, сформулированный Галилеем, развитый Ньютоном, станет одной из главных предпосылок специальной и общей теории относительности Эйнштейна.

Следствиями *электромагнитной концепции* явились известные законы электростатики и классической электродинамики (Кулона, Ома, Кирхгоффа, Фарадея, Максвелла и др.), установление связи между механической и электрической энергиями, выяснение причин возникновения индуцированных токов, а также связи между индуктивностью и магнитной энергией, установление принципов работы волноводов.

Важнейшим достижением первой половины XIX в. стало открытие фундаментального закона природы – *закона сохранения и превращения энергии*. Было показано, что энергия (греч. *energeia* – действие, деятельность) – это общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. В соответствии с различными формами движения материи существуют и разные виды энергии: механическая, тепловая, электрическая, внутренняя, химическая, ядерная. Суть этого закона состоит в том, что в изолированной системе энергия может переходить из одного вида в другой, но при этом ее количество остается постоянным. Основной вклад в его открытие внесли немецкий врач *Р.Ю. Майер* (1814–1878), немецкий физик-химик *Г.Л. Гельмгольц* (1821–1894) и английский естествоиспытатель *Д.П. Джоуль* (1818–1889), которые установили существование процесса превращения теплоты в работу и обратно, а затем и процессов взаимопревращения различных видов энергии. Этот закон, по существу, выражал идею неуничтожимости материи и движения.

В области *оптики* были установлены законы, которые описывали явления отражения и преломления света. *П. Ферма* сформулировал в общем виде принцип наименьшего времени, объясняющий прямолинейность распространения света: из всех возможных путей, соединяющих две точки, свет выбирает тот, который требует наименьшего времени для его прохождения. Были разработаны принципы работы линзы, позволяющие определять фокусное расстояние линзы, объяснять увеличение изображения с помощью линзы и свойство абберации, связанное с расстоянием луча света от оси линзы (наблюдается расплывчатое пятно). Законы волнового излучения света описывали такие явления, как интерференция, дифракция и дисперсия, а также обратную пропорциональ-

ную зависимость энергии излучения от квадрата расстояния. Было показано, что дисперсия света обусловлена разными коэффициентами его преломления, а специальной системой призм свет можно разложить на семь цветов (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый).

Молекулярно-кинетическая теория газов (МКТ), подготовленная трудами Д. Бернулли и М. Ломоносова еще в XVIII в., сложилась окончательно уже в XIX в. Строение вещества (газов) с точки зрения трех основных положений рассматривала МКТ: все тела состоят из отдельных частиц, которые находятся в непрерывном, хаотичном движении и взаимодействуют друг с другом путем абсолютно упругих столкновений.

Из МКТ следовало, что теплота непосредственно связана с колебательным движением молекул газа, а его давление является результатом соударений молекул со стенками сосуда. Давление газа пропорционально числу частиц газа и кинетической энергии их движения. Уравнение Менделеева – Клапейрона ($PV = NkT$, где k – постоянная Больцмана), описывающее поведение идеального газа, устанавливало строго определенное число атомов N при одинаковых температуре и давлении, то есть в равных объемах любых газов при одинаковых температуре и давлении содержится равное число молекул. Была установлена связь между средней кинетической энергией одной молекулы E_k и температурой газа, причем, если молекулы движутся хаотично в трех направлениях, то $E_k = (mv^2 / 2)_{\text{ср}} = 3/2(kT)$; если в одном, то $(mv^2 / 2)_{\text{ср}} = 1/2(kT)$.

МКТ позволила объяснить такие явления, как диффузия, теплопроводность и растворение, а также рассчитать средние скорости движения молекул и средний свободный пробег молекулы, то есть значение длины прямолинейного пути, проходимого молекулой между двумя последовательными соударениями. Заметим, что среднее число соударений молекул равно приблизительно 5 млрд в секунду.

Логическим завершением теории явились: закон Ван-дер-Ваальса, описывающий поведение реального газа:

$$(P + a / V^2)(V - b) = RT$$

(где a характеризует силы межмолекулярного притяжения, а b учитывает размеры молекул), а также формулировка эмпирических газовых законов: Бойля – Мариотта, Гей-Люссака и Шарля.

На основе МКТ развит ряд разделов современной физики, как физическая кинетика и статистическая механика. Ее результаты позволили получить количественные зависимости числа молекул газа (и плотности) от высоты:

$$n_h \sim \alpha \times e^{-mgh/kT}$$

(где mgh – потенциальная энергия молекулы), а также распределение молекул по скоростям:

$$n_v \approx \beta \times e^{-mv^2/2kT}.$$

Еще одним важным достижением классической физики стала разработка *теории звука*. Было показано, что звук – это распространяющееся в виде волн колебательное движение частиц упругой среды (газообразной, жидкой или твердой), которое включает волны как слышимого, так и неслышимого диапазона. Человек слышит звук частотой от 16 до 20 000 Гц. Звук с частотой ниже слышимого диапазона называется инфразвуком, выше – ультразвуком. Важной характеристикой звука является его спектр, получаемый путем разложения звука на простые гармонические колебания и волны. Энергетической характеристикой звуковых волн является интенсивность звука, которая определяется амплитудой звукового давления (или колебательной скорости частиц), волновым сопротивлением среды и формой волны. Было установлено, что при распространении звуковых волн наблюдаются обычные для всех типов волн явления интерференции и дифракции. При превышении размеров препятствий (или неоднородностей) по сравнению с длиной волны распространение звука описывается законами отражения и преломления лучей, то есть может рассматриваться с позиций геометрической акустики.

XIX столетие стало временем становления классической *термодинамики* (концепции термодинамики будут рассмотрены далее).

Очень важным как в фундаментальном отношении, так и в практическом плане явилось открытие русским физиком *А.Г. Столетовым* (1839–1896)

фотоэлектрического эффекта, послужившее в дальнейшем одним из отправных моментов для разработки концепции корпускулярно-волнового дуализма света (теоретическое объяснение законов фотоэффекта было дано А.Эйнштейном в 1905 г.).

Периодический закон, открытый и сформулированный русским химиком *Дмитрием Ивановичем Менделеевым* (1834–1907), сыграл важную роль в утверждении концепции атомизма (то есть реального существования атомов) и послужил основой для раскрытия физического смысла химического элемента.

Периодический закон, закон сохранения и превращения энергии и многие другие достижения XVIII–XIX вв. (клеточная теория, эволюционная и электромагнитная концепции и др.) способствовали *диалектизации* естествознания, то есть осознанию факта, что в природе все взаимосвязано и находится в постоянном развитии.

Результаты научных исследований XVII–XIX вв. имеют разную природу, но их анализ позволяет сделать определенные выводы о методологических принципах классической физики:

1. Один из принципов классической физики состоит в том, что физические системы как совокупность материальных объектов, явлений и процессов существуют объективно (то есть независимо от сознания человека); при этом они относительно устойчивы и расположены в определенном порядке в пространстве и во времени.

2. Взаимодействие физических объектов обычно не приводит к существенному изменению их структуры; однако если и происходят некоторые изменения, то всегда можно их определить, ввести соответствующие поправки и тем самым уточнить сведения о первоначальном состоянии взаимодействующих объектов.

3. Все физические системы (и их элементы), существующие в реальной окружающей среде, связаны между собой причинно-следственными связями, которые позволяют однозначно (то есть точно и одновременно) определять координаты и поведение системы (или ее элементов) через любой промежуток

времени.

4. Основным критерием достоверности физической картины Мира является эксперимент, в ходе которого изучаемый объект (явление, процесс) остается неизменным. Это означает, что физический прибор, используемый в эксперименте, непосредственно не воздействует на изучаемый объект.

5. Данные о свойствах материальных объектов и механизмах явлений и процессов всегда могут быть выражены в количественной форме (соотношения, уравнения, формулы и т.п.).

6. Динамические закономерности поведения физических систем могут быть однозначно описаны системой дифференциальных уравнений.

7. Большинство физических систем являются замкнутыми, обратимыми (то есть направление времени для них не имеет особого значения), а их свойства, как правило, подчиняются линейным законам.

Открытия рубежа XIX–XX вв. привели классическую парадигму к кризису. Стало ясно, что классическая механика Ньютона имеет ограниченную область применения. Так, она не применима при скоростях движения тел, сравнимых со скоростью света, в этих случаях ее дополнила *релятивистская* механика, построенная на основе специальной теории относительности Эйнштейна. Механика Ньютона стала лишь частным случаем релятивистской механики. Кроме того, из механистической концепции следовало, что движение тел можно описывать путем задания их координат и зависимости скорости от времени (то есть движение тел происходит по определенным траекториям). Однако опыты показали, что такое описание движения часто несправедливо для тел с очень малой массой (например, для микрочастиц). В этом состоит второе ограничение применимости классической механики.

В это же время было показано, что и классическая электродинамика не может объяснить многие процессы взаимодействия света с веществом и процессы, происходящие в самом атоме (например, изменение устойчивости атомов и характера спектров их излучения). В конечном счете это привело к открытию законов квантовой механики, которые описывают как нерелятивист-

ские, так и релятивистские процессы.

3.7. Формирование неклассической науки

На рубеже XIX–XX вв. в системе естественнонаучного знания произошли радикальные изменения, затронувшие его основные концепции.

В 1895 г. *Вильгельм Конрад Рентген* (1845–1923) обнаружил излучение, обладающее большой проникающей способностью, то есть способностью проходить через светонепроницаемые тела, ионизировать газы и т.д. В практическом отношении это открытие привело к созданию технических устройств, позволяющих исследовать строение вещества на принципиально новом качественном уровне (рентгено-структурный анализ), а также к его использованию в медицине при проведении диагностики различных заболеваний.

Изучая действие рентгеновских лучей на газы, англичанин *Джозеф Джон Томсон* (1856–1940) установил резкое возрастание электропроводимости газа, которая сохраняется даже после прекращения облучения. Это привело к выводу, что проводниками электричества в газах являются заряженные частицы, образующиеся под действием рентгеновских лучей. Так была открыта первая элементарная частица – *электрон* (1896).

В том же 1896 г. французский физик *Антуан Анри Беккерель* (1852–1908) обнаружил явление *радиоактивного распада* химических элементов (почернение фотографической пластинки, лежащей рядом с кристаллами сульфата урана), которое (как и открытие рентгеновского излучения) сыграло исключительную роль в развитии современной фундаментальной и прикладной физики и легло в основу развития ядерной физики. На основе систематических исследований радиоактивного излучения английским физиком *Эрнестом Резерфордом* (1871–1937) было установлено, что радиоактивные атомы испускают частицы двух типов, которые были названы альфа-частицами (ядра гелия) и бета-частицами (электроны). В дальнейшем *Пьеру Кюри и Марии Склодовской-Кюри* удалось выделить из урановых руд новый элемент – *радий*, который обладал значительно большей радиоактивностью, чем уран.

В результате научных открытий оказались подвергнуты критике традиционные представления классической физики об атомной структуре веществ. В связи с открытием электрона атом утратил свой статус структурного неделимого элемента материи. Преодолевались классические представления о мире в целом как системе стационарной. Новые экспериментальные данные естественных наук, во-первых, выявили существование микромира, во-вторых, подтвердили представление об относительности научной истины, в-третьих, показали многообразие видов и форм материи, явлений, типов взаимосвязей.

Основы квантовой физики были заложены немецким ученым *Максом Планком* (1858–1947) в работе, связанной с теорией теплового излучения. Исследуя излучение тел на основе представлений классической физики, ученый пришел к выводу, что вся энергия тела должна перейти в излучение, и вещество в итоге должно разрушиться. Многие новые экспериментальные факты не могли быть объяснены в рамках классической теории. Из создавшегося кризисного положения нужно было найти выход, который, с одной стороны, не противоречил бы основам классической физики, а с другой – был связан с принципиально новыми идеями. Планк выдвинул по тем временам смелую, но разумную гипотезу о дискретном излучении энергии атомами разных веществ, то есть определенными порциями, *квантами*. Основной постулат Планка заключался не только в том, что излучение энергии происходит дискретно, но и в том, что энергия кванта E прямо пропорциональна частоте колебания осциллятора (атома), то есть частоте излучения ν :

$$E = h\nu,$$

где h – постоянная Планка.

Именно с этого времени начинают свое развитие квантовая физика и ее разделы – квантовая механика, квантовая теория твердого тела, квантовая оптика и спектроскопия, квантовая теория полупроводников, квантовая теория поля и т.д.

Наибольший вклад в создание и развитие квантовых представлений внесли М. Планк, А. Эйнштейн, Э. Шредингер, Н. Бор, В. Гейзенберг, М. Борн,

Э. Ферми, П. Дирак, В. Паули, Л. Ландау, В. Гинзбург, И. Тамм, И. Франк, Н. Басов, А. Прохоров, П. Капица, П. Черенков, А. Абрикосов, Ж. Алферов и другие ученые.

Самое общее принципиальное отличие классической и квантовой физики состоит в следующем:

– согласно *классической* концепции, при переходе физической системы из одного состояния в другое ее *энергия изменяется непрерывно*;

– согласно *квантовой* теории, при переходе физической системы из одного состояния в другое ее *энергия изменяется дискретно*.

Вместе с тем, несмотря на различие этих общих концепциях, и классической и квантовой физике соответствуют как динамические, так и статистические закономерности, которые обычно выражаются специальными теориями.

3.8. Концепция корпускулярно-континуальных (непрерывно-дискретных) свойств материи

Концепция непрерывно-дискретных свойств материи основана на результатах двух крупных достижений современной физики: теории строения атома и концепции корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц.

Теория строения атома непосредственно связана с общей концепцией квантовой физики. Если сами представления об атомах как о мельчайших неделимых частицах зародились еще в античные времена, то их существование было доказано только в XVIII – начале XIX в. усилиями *М.В. Ломоносова* (1711–1765), французского химика *А. Лавуазье* (1743–1794) и английского химика и физика *Д. Дальтона* (1788–1844). Особое место в формировании представлений об атомах принадлежит *Д.И. Менделееву*.

Строгое научное обоснование расположения элементов стало возможным после открытия электрона английским физиком *Дж.Д. Томсоном*. Именно Томсон предложил первую модель атома, совершенно правильно считая его нейтральным (хотя существование ядра атома еще не было доказано). Затем были определены масса электрона ($9,1 \cdot 10^{-28}$ г) и величина его заряда ($1,6 \cdot 10^{-19}$

К). Положительно заряженная часть атома, то есть его ядро, была открыта в 1911 г. английским физиком *Э. Резерфордом*, который придал статической модели Томсона динамический характер.

Модель строения атома (планетарная), предложенная Резерфордом (рис. 3.1), состоит в следующем. В центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена практически вся масса атома (так как масса электронов ничтожно мала). Вокруг ядра по разным орбитам вращаются электроны. Возникающая при их вращении центробежная сила уравнивается силой притяжения между ядром и электронами, в связи с чем электроны находятся на определенных (постоянных) расстояниях от ядра.

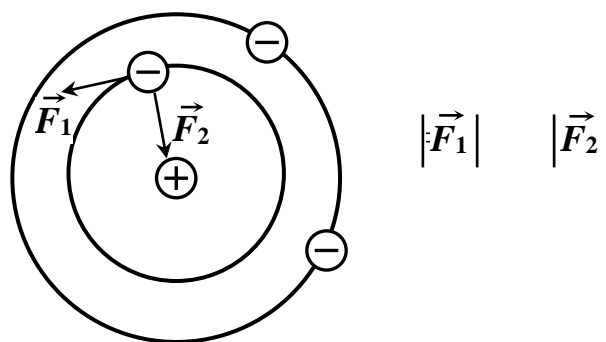


Рис. 3.1. Модель строения атома

Дальнейшее развитие теории строения атома связано с объяснением одного из новых экспериментальных фактов, а именно наличия линейчатых спектров, получаемых при разложении света, излучаемого атомами паров и газов. Резерфорд выдвинул гипотезу, согласно которой линейчатый характер спектров обусловлен колебаниями электронов в атомах, которые эквиваленты их вращениям вокруг ядра. Затем было предположено, что вращающийся электрон излучает свет определенной длины волны, зависящей от частоты вращения электрона по орбите (то есть от частоты кажущихся колебаний), и, таким образом, каждой линии спектра света соответствует «своя» длина волны ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$) и частота колебания ($\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$).

Однако такие представления Резерфорда привели к принципиальному

противоречию, неразрешимому в рамках классических представлений. Согласно классической теории, электрон, излучая свет, теряет часть своей энергии. Искерпав всю свою энергию, электрон должен упасть на ядро, и излучение прекратится. Однако если на самом деле происходит такое непрерывное излучение электроном, то и спектр должен быть непрерывным, а не линейчатым. Кроме того, падение электрона на ядро означает разрушение атома, то есть разрушение самого вещества, чего в действительности не наблюдается. Таким образом, теория строения атома Резерфорда не могла объяснить наличие линейчатых спектров излучения света.

Выход из такой ситуации был найден в принципиально новом подходе, а именно в квантовой теории строения атома, которую предложил в 1913 г. выдающийся датский физик *Нильс Бор* (1885–1962). В основе его концепции лежат два постулата. Первый постулат состоит из трех положений:

- 1) атом может существовать в стационарных (то есть не изменяющихся со временем) состояниях, в которых он не излучает энергию;
- 2) этим стационарным состояниям атома соответствуют также стационарные (фиксированные по величине энергии) орбиты, по которым движутся электроны);
- 3) движение электронов по этим орбитам не сопровождается излучением энергии (в отличие от теории Резерфорда).

Второй постулат связан с возможностью перехода электрона с одной орбиты на другую, что, в свою очередь, приводит к переходу самого атома из одного энергетического состояния в другое. Поэтому суть второго постулата заключается в том, что переход электрона с одной стационарной орбиты на другую сопровождается либо излучением, либо поглощением одного кванта света (фотона), причем с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний атома:

$$E = E_n - E_m \text{ или } E = E_m - E_n .$$

Это означает, что при $E_n \rightarrow E_m$ происходит излучение фотона, то есть атом переходит из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энер-

гией, и наоборот, при $E_m \rightarrow E_n$ происходит поглощение фотона, то есть атом переходит из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией. Отсюда следует, что излучение атома характеризуется набором возможных частот квантовых переходов

$$\nu_i = |(E_n - E_m) / h|.$$

Именно такой набор частот и обуславливает линейчатый (дискретный) спектр излучения атома.

Теория корпускулярно-волнового дуализма света и микрочастиц явилась вторым достижением в создании концепции непрерывно-дискретных свойств материи.

Волновые представления о природе света возникли еще в XVII в., когда была высказана гипотеза, что свет – это колебание, распространяющееся в особой среде («эфире»), которой заполнено все мировое пространство. В общем смысле *волна* как физическое понятие – это возбуждение (или возмущение), которое распространяется в пространстве с конечной скоростью, причем с переносом энергии, но без переноса массы (вещества). Основными параметрами волны являются ее длина (λ), скорость (v), частота (ν) и период колебания (T) (например, скорость света $c = \lambda\nu$).

Основой волновой теории света является принцип Гюйгенса – Френеля, согласно которому каждая точка, до которой дошло возбуждение, становится центром вторичных волн и передает их во все стороны соседним точкам. Экспериментальными подтверждениями волновых свойств света можно считать явления интерференции, дифракции и дисперсии. *Интерференция* света заключается в усилении или ослаблении колебаний, а значит, и самого света при взаимном наложении двух и более волн. *Дифракция* – отклонение луча света от прямолинейного направления при встрече его с каким-либо препятствием. *Дисперсия* (или разложение) света была открыта еще Ньютоном, который установил зависимость скорости распространения света от длины волны.

Представления о *квантовых* свойствах света появились благодаря открытию фотоэлектрического эффекта – явления вылета электронов из атомов ве-

ществ под воздействием падающего света. Появление свободных электронов в веществе и приводит к возникновению электрического тока. Количественные закономерности фотоэффекта были установлены русским физиком А.Г. Столетовым:

- сила возникающего электрического тока прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела;
- максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности светового излучения, но возрастает с частотой света;
- при частоте света, меньшей некоторой определенной для данного вещества частоты, фотоэффект не наблюдается (красная граница).

Указанные количественные закономерности не удавалось объяснить на основе волновой теории света. Основная идея квантовой теории света, созданной в 1905 г. А. Эйнштейном, состоит в том, что излучение и распространение света происходит в виде определенных порций, то есть потока световых квантов (фотонов), энергия которых определяется формулой Планка: $E = h\nu$, а масса фотона связана с волновыми характеристиками света:

$$m = E / c^2 = h\nu / c\lambda\nu = h / c\lambda.$$

Таким образом, можно сделать следующие фундаментальные выводы:

- свет имеет двойственную корпускулярно-волновую природу;
- свет представляет собой единство противоположных свойств – корпускулярных (квантовых) и волновых (электромагнитных);
- свет представляет собой единство непрерывности и дискретности.

Развивая концепцию корпускулярно-волнового дуализма света и опираясь на фундаментальное свойство природы – симметрию, французский физик *Луи де Бройль* (1892–1987) выдвинул в 1923 г. гипотезу об универсальности корпускулярно-волнового дуализма. Он предположил, что не только фотоны, но и электроны, и любые другие частицы материи обладают таким дуализмом свойств. Согласно этой гипотезе (а впоследствии концепции) с каждым микрообъектом связаны, с одной стороны, корпускулярные характеристики (энергия, масса, импульс), а с другой – волновые (частота колебания и длина волны),

причем количественные соотношения для всех частиц одинаковы. Главный вывод концепции де Бройля состоит в том, что в зависимости от внешних условий любой микрообъект потенциально может проявить себя либо в виде частицы, либо в виде волны. В общем случае длина волны частицы $\lambda = h / mv$ (где $h = 6,7 \times 10^{-27}$ эрг·с – постоянная Планка), поэтому чем больше масса m и скорость v частицы, тем меньше λ . Так, частице с массой в 1 г и движущейся со скоростью 1 м/с должна соответствовать длина волны де Бройля, равная 10^{-28} м, что лежит в области, не доступной наблюдению. Именно поэтому волновые свойства *макроскопических* тел до сих пор экспериментально не обнаружены и в механике макротел волновые свойства несущественны.

В практическом отношении теории, основанные на концепции корпускулярно-волнового дуализма, привели к созданию принципиально новых физических методов исследования материи, таких как кристаллография, электронография, нейтронография.

3.9. Основные типы фундаментальных взаимодействий в природе

Одна из важнейших концепций современного естествознания связана с тем, что все, что происходит в природе (образование веществ, их превращения, возникновение силовых полей вокруг макротел и микрочастиц, воздействие различных видов энергии на неживую и живую природу), обусловлено разными типами взаимодействий. Теоретические исследования и экспериментальные факты указывают на то, что во Вселенной действуют четыре типа фундаментальных физических взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Исследование специфики механизма этих взаимодействий является одной из главных задач современной физики.

Гравитационное взаимодействие характерно для всех материальных объектов вне зависимости от их природы. Оно заключается во взаимном притяжении тел и описывается законом всемирного тяготения. Определяющая роль гравитационного взаимодействия принадлежит макропроцессам и взаимодействию макротел. Особенности гравитации проявляются в относительно малой

интенсивности, а также в ее дальном действии, то есть, несмотря на убывание с расстоянием, гравитационное взаимодействие наблюдается на очень больших расстояниях от источника. В частности, в мегамире оно играет определяющую роль, удерживая планеты на орбитах, звезды в галактиках, галактики в их скоплениях и т.д. В процессах микромира оно не имеет особого значения, так как в этих случаях происходит на очень малых расстояниях и между незначительными массами. Согласно квантовой теории поля, частицы-переносчики гравитационного взаимодействия – *гравитоны*, экспериментально не обнаруженные на сегодняшний день.

Электромагнитное взаимодействие обусловлено возникновением электрического и магнитного полей и их взаимосвязью. Если гравитационное поле создают все материальные объекты, то с электромагнитным полем связаны только заряженные частицы. При этом всегда нужно иметь в виду, что магнитное поле возникает только при движении электрических зарядов, которые в зависимости от знака и направления их движения либо притягиваются, либо отталкиваются друг от друга. Кроме того, так же как и электрические заряды, одноименные магнитные полюсы отталкиваются, а разноименные – притягиваются. Но в отличие от электрических зарядов магнитные полюсы существуют только парами – северный и южный. Электромагнитное взаимодействие может проявляться на разных расстояниях от его источника, то есть на всех уровнях материи – в мегамире, макромире и микромире. Именно в связи с этим многие процессы и свойства веществ определяются электромагнитным взаимодействием между частицами (молекулами, атомами в молекуле, электронами и ядрами в атомах). Сила трения, сила упругости, сила поверхностного натяжения воды и агрегатные состояния вещества определяются силой электромагнитного взаимодействия.

В количественном отношении электромагнитное взаимодействие описывается известными законами электростатики и электродинамики, и его интенсивность (так же как и для гравитации) обратно пропорциональна квадрату расстояния между заряженными телами.

В квантовой теории поля переносчиками этого вида взаимодействия являются *фотоны*.

Сильное взаимодействие обусловлено ядерными силами, то есть взаимодействием нуклонов (в основном протонов и нейтронов), входящих в состав ядра атома, и является источником огромной энергии. Характерным примером в этом отношении является излучение Солнца, внутри которого (а также в звездах) постоянно протекают термоядерные реакции, вызванные сильным взаимодействием. Радиус его действия определяется размерами ядра атома, то есть приблизительно 10^{-13} см. Поэтому, несмотря на то что сильное взаимодействие по своей энергии существенно превосходит все фундаментальные взаимодействия, за пределами ядра атома оно практически не обнаруживается. Само название такого взаимодействия связано с тем, что оно является наиболее интенсивным и фактически отвечает за устойчивость ядер атомов. Установлено, что чем сильнее взаимодействуют нуклоны в ядре, тем больше энергия их связей и тем устойчивее ядро атома, а значит, и сам атом. Вместе с тем вполне понятно, что с возрастанием размера ядра атома энергия между его нуклонами должна уменьшаться. Именно поэтому ядра элементов, находящихся в конце Периодической системы химических элементов, менее устойчивы и даже могут распадаться, что и обнаруживается в явлении радиоактивного распада ядер атомов этих элементов. Выяснилось, что переносчиком сильного взаимодействия являются *глюоны*, и это очень важно.

Менее интенсивным по сравнению с электромагнитным и с сильным взаимодействием является *слабое взаимодействие* (хотя оно также происходит при непосредственном участии элементарных частиц). Такое взаимодействие протекает значительно медленнее, наблюдается на незначительных расстояниях от источника (менее 10^{-14} см) и по продолжительности является короткодействующим. Оно было обнаружено при исследовании радиоактивного распада химических элементов, и в частности при изучении бета-распада. В. Паули предположил, что при бета-распаде вместе с электроном вылетает еще одна элементарная частица, названная Э. Ферми нейтрино. Затем было показано, что

свободные нейтроны в течение некоторого времени (обычно нескольких минут) распадаются на три частицы – протон, электрон и нейтрино. Теория слабого взаимодействия была создана в конце 60-х годов XX в.

Рассмотренные типы фундаментальных взаимодействий можно расположить в порядке уменьшения их относительной интенсивности (энергии) в следующий ряд: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное. Если сильное взаимодействие принять за единицу, то электромагнитное взаимодействие будет в 10^2 раз меньше, слабое – в 10^{10} , а гравитационное – в 10^{38} раз меньше сильного взаимодействия.

Как видно, указанные типы фундаментальных взаимодействий по своей физической природе принципиально отличаются между собой, но, несмотря на это, их объединяют несколько общих принципов.

Один из этих принципов связан с тем, что любой тип взаимодействия представляет собой воздействие одного объекта на другой. Механизм такого воздействия, протекающего в пространстве и во времени, обусловлен обменом материей и энергией, которые являются характеристиками движения. Таким образом, можно считать, что всегда имеется так называемая обратная связь, которая означает, что, во-первых, не существует такого движения, которое бы не сопровождалось взаимодействием элементов материи; во-вторых, взаимодействие материальных объектов должно приводить к определенному изменению (в том числе и характера движения). Следовательно, не только движение, но и любое взаимодействие является формой существования материи.

Другой общей для всех типов взаимодействий особенностью является их универсальность в отношении всех видов материи. Для гравитации это проявляется в притяжении, для других взаимодействий – как в притяжении, так и в отталкивании между материальными объектами. Известно, что механизмы многих химических реакций обусловлены электромагнитным взаимодействием, в результате которого происходит перераспределение химических связей между атомами, состоящее в пространственной перестройке электронных оболочек в атомах. Еще более конкретным примером, указывающим на общность разных

видов взаимодействий, может являться наличие разновидностей физической формы движения: механическое и тепловое движение, изменение агрегатного состояния вещества, процессы кристаллизации, звуковые колебания, ядерные и термоядерные реакции. В частности, теплоту можно рассматривать как макроскопическую форму движения, которая проявляется в столкновениях атомов и молекул в газах, жидкостях, твердых телах и плазме, а также в виде взаимодействия излучения с веществом. При этом мерой интенсивности теплового движения является температура, которая находится в прямой пропорциональной связи с кинетической энергией частиц или энергией поглощенного излучения по формуле $E = 3/2 kT$.

3.10. Элементарные частицы, их свойства и характеристики

Примерно с 30-х годов XX в. начинается история современной ядерной физики. С одной стороны, это направление физики изучает структуру, свойства и взаимопревращения атомных ядер. С другой стороны, эта область физики непосредственно включает физику элементарных частиц и атомную энергетику. Само понятие «элементарные частицы» связано с установлением дискретного характера строения вещества на микроскопическом уровне и употребляется для наименования большой группы мельчайших частиц, которые обладают квантовыми свойствами и не являются ни атомами, ни атомными ядрами (за исключением протона). Короче говоря, элементарные частицы – это простейшие частицы, из которых состоит материя. Большинство из них являются лишь условно элементарными.

Установление того, что молекулы построены из атомов, впервые позволило описать все известные вещества как комбинации конечного числа их структурных составляющих. Обнаружение электронов и ядер атомов, определение их структуры существенно уменьшили количество дискретных элементов, формирующих свойства вещества. Затем, однако, оказалось, что сами протоны и нейтроны могут иметь более сложное строение. Кроме электрона, протона и нейтрона к элементарным частицам относятся фотон, пи-мезоны, мюо-

ны, нейтрино трех типов (электронное, мюонное и связанное с «тяжелым» лептоном), так называемые странные частицы (К-мезоны и гипероны), разнообразные резонансы, пси-частицы, «очарованные» и ипсилон-частицы, тяжелые лептоны – всего более 350 видов.

Открытие элементарных частиц было подготовлено исследованиями оптических спектров атомов, изучением электрических явлений в жидкостях и газах, обнаружением таких явлений, как фотоэлектрический эффект, рентгеновское излучение, радиоактивный распад атомов химических элементов, которые свидетельствовали о существовании сложной структуры материи. Исторически первой открытой элементарной частицей был электрон (1896), затем Э. Резерфорд обнаружил положительно заряженное ядро (1911). В 1919 г. среди частиц, выбитых из атомных ядер, он нашел частицы с единичным положительным зарядом, названные протонами (их масса в 1840 раз превышала массу электрона!). Другая частица, входящая в состав ядра, – нейтрон – была открыта в 1932 г. *Дж. Чедвиком* (1891–1974) при исследовании взаимодействия альфа-частиц с бериллием. Нейтрон имеет массу, близкую к массе протона, но не обладает электрическим зарядом.

Более детально история открытия элементарных частиц и развития представлений об их свойствах выглядит следующим образом. Развивая идею Планка о возможности излучения энергии атомами разных веществ дискретным образом, Эйнштейн показал, что свет как электромагнитное излучение является потоком отдельных квантов (фотонов). Существование фотонов было экспериментально доказано *Милликеном* и *Комптоном*. Открытие нейтрино связано с гипотезой Паули, позволившей устранить трудности с законом сохранения энергии в процессах бета-распада радиоактивных ядер. Экспериментально существование нейтрино было подтверждено в конце 1940-х – начале 1950-х годов в работах *Э. Ферми*, *Ф. Райнеса* и *К. Коуэна*. Вообще изучение элементарных частиц наиболее тесно связано с исследованиями космических лучей. Так, в 1932 г. *К. Андерсоном* был обнаружен позитрон – первая античастица, обладающая массой электрона, но положительным электрическим зарядом. Суще-

ствование позитрона непосредственно вытекало из релятивистской теории электрона, развитой *П. Дираком*. В 1936 г. американские физики *К. Андерсон* и *С. Неддермейер* обнаружили при исследовании космических лучей *мюоны* (имеющие оба знака электрического заряда) – частицы с массой, примерно равной 200 массам электрона, но весьма близкие по свойствам к электрону и позитрону. В 1947 г. также в космических лучах группой *С. Пауэлла* были открыты предсказанные *Х. Юкавой* π^+ и π^- -мезоны с массой в 274 электронные массы, играющие важную роль во взаимодействии протонов с нейтронами в ядрах. 1950-е годы ознаменовались открытием большой группы частиц с необычными свойствами, получивших название «*странных*» (K^+ и K^- -мезоны и др.), а также тем, что ускорители элементарных частиц превратились в основной инструмент для их исследования, и в 1970-х годах энергии частиц, разогнанных на ускорителях, составили десятки и сотни миллиардов электрон-вольт. Применение ускорителей элементарных частиц позволило доказать существование тяжелых *античастиц* – антипротона, антинейтрона и антисигмагиперонов. В 1960-х годах было открыто большое число крайне неустойчивых частиц, получивших название *резонансов*, масса большинства которых превышает массу протона. В 1962 г. было доказано существование двух разных нейтрино – электронного и мюонного. В 1974 г. обнаружены довольно массивные (в 3–4 протонные массы) и в то же время относительно устойчивые *пси-частицы* со временем жизни, необычно большим для резонансов. В 1975 г. получены первые сведения о существовании тяжелого аналога электрона и мюона (тяжелого лептона), а в 1977-м – о *гамма-частицах* с массой порядка десятка протонных масс. В 1970-х годах были теоретически предсказаны, а в 1983 г. экспериментально обнаружены частицы, названные *бозонами*, которые являются переносчиками слабого взаимодействия между электронами, протонами, нейтронами и нейтрино. Кроме того, оказалось, что они могут быть нейтральными и заряженными. Таким образом, за годы, прошедшие после открытия электрона, выявлено огромное число разнообразных микрочастиц материи.

Изучение внутреннего строения материи и свойств элементарных частиц

сопровождалось радикальным пересмотром многих ранее принятых закономерностей классической механики и электродинамики. Концепции специальной и общей теории относительности, квантовой механики и квантовой теории поля являются основой для принципиально нового описания явлений микромира. Элементарные частицы участвуют во всех типах фундаментальных взаимодействий и в зависимости от этого могут быть разделены на несколько групп: лептоны, адроны, фотоны.

Лептоны. Наиболее известными из них являются электроны и два вида мюонов (они не участвуют только в сильном взаимодействии), а также нейтрино, которые не участвуют ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействии. Существуют три типа нейтрино: электронное, мюонное и тау-нейтрино, а у каждого лептона есть своя античастица, то есть общее число лептонов равно двенадцати.

Адроны. Они участвуют во всех типах фундаментальных взаимодействий, кроме гравитационного, могут быть нейтральными и заряженными. Наиболее известные из них – протоны и нейтроны, а остальные (их количество достигает сотен) крайне нестабильны и представляют два вида: барионы (тяжелые частицы гипероны и барионные резонансы) и мезоны (мезонные резонансы). В 1963 г. было установлено, что адроны являются комбинациями двух или трех структурных элементов, названных кварками и обладающих самой малой массой по сравнению со всеми известными элементарными частицами. Переносчиками взаимодействия между кварками (сильного взаимодействия) являются глюоны, которые и связывают их либо попарно, либо в тройки. Кварки имеют дробный электрический заряд, который составляет либо $-1/3$, либо $+2/3$ заряда электрона. Комбинация из двух или трех кварков может иметь суммарный заряд, равный нулю или единице.

Фотоны. Они, являясь нейтральными частицами и имея нулевую массу покоя, переносят только электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами.

Гравитон – гипотетическая элементарная частица, для которой характер-

но гравитационное взаимодействие (до сих пор ее существование экспериментально не подтверждено, так как гравитация наименее интенсивна из всех известных фундаментальных взаимодействий и не принимает участия в квантовых процессах).

Исследования участия элементарных частиц в разных типах фундаментальных взаимодействий позволили сделать два общих и очень важных вывода:

1) все взаимодействия представляют собой процессы зарождения и гибели микрочастиц;

2) все процессы зарождения и гибели частиц происходят не в пространстве и во времени, а мгновенно и локализованы в определенной точке.

Элементарные частицы можно классифицировать и по другим свойствам.

По времени жизни элементарные частицы делят на *стабильные* (электрон, протон, фотон, нейтрино), *квазистабильные* (нейтрон, мезоны) и *резонансы* ($10^{-24} - 10^{-22}$ с). Выделяют еще один класс частиц – *виртуальные*, время существования которых меньше 10^{-24} с, поэтому их невозможно зарегистрировать с помощью современной техники, но существование которых предсказано теоретически.

Каждая частица обладает массой покоя, которая измеряется в Мэв. Диапазон значений масс различных частиц весьма широк: от 0 (фотон и нейтрино) до 3000 Мэв и выше. Первоначальная классификация частиц была основана именно на значениях их масс. Но оказалось, что этот признак (как и масса атомов в Периодической системе химических элементов Менделеева) является необходимым, но не достаточным. По массе частицы классифицируют на *лептоны*, *мезоны* и *барионы*.

Одной из важнейших и «загадочных» характеристик частицы является *спин* (s или j). Его часто характеризуют как собственный момент импульса элементарной частицы, которая «подобна» вращающемуся волчку, что не совсем верно, поскольку спин не связан с движением в пространстве. Это внутренняя квантовая характеристика частицы, которая не имеет аналогии в классической механике.

В соответствии с положениями квантовой механики спин может принимать только дискретные значения, причем целые или полуцелые, но кратные постоянной Планка. Например, у электрона и протона $s = 1/2$, у фотона $s = 1$ (хотя это не совсем точно, так как его масса покоя равна нулю). Поэтому в зависимости от величины спина некоторые группы элементарных частиц также разделяют на подгруппы. В частности, адроны – на барионы (с полуцелым спином – протоны, электроны, нейтроны) и мезоны (с целым спином). Установлено также, что спин частицы однозначно определяет тип статистики: частицы с полуцелым спином – *фермионы* (лептоны, барионы и барионные резонансы) подчиняются статистике Ферми – Дирака, а частицы с целым спином – *бозоны* (фотон, мезоны и мезонные резонансы) – статистике Бозе – Эйнштейна.

Важной характеристикой частиц является величина электрического заряда, который может принимать лишь целочисленные значения (заряд электрона принимается равным -1). В настоящее время известно множество нейтральных частиц и частиц с зарядом, равным по абсолютной величине единице.

В 1964 г. американские ученые *М. Гелл-Ман* (р. 1929) и *Дж. Цвейг* (р. 1937) теоретически обосновали существование *кварков* – частиц с дробным электрическим зарядом ($-1/3$ либо $2/3$), из которых состоят практически все барионы и мезоны. Но кварки не обнаружены в свободном состоянии, а существуют только в группах: пары кварков составляют мезоны, тройки – барионы. Кварки обладают особыми свойствами (квантовыми числами), названными шутливо *ароматами* и *цветом*. По ароматам различают шесть типов кварков: верхний (u), нижний (d), странный (s), истинный (t), очарованный (c), прелестный (b). Каждый тип кварков может быть в одном из трех цветовых состояний (имеет свой цветовой заряд). Цветовой заряд – это более сложный аналог спина.

С помощью кварков удастся объяснить и описать все многообразие свойств и превращений адронов. Опыты, проводимые на ускорителях частиц, позволили доказать их существование и основные свойства.

К ароматам относятся и другие квантовые характеристики элементарных частиц, или квантовые числа: электрический заряд, изоспин, гиперзаряд, леп-

тонное число L и барионное число B . По определению, для лептонов $L = +1$, $B = 0$; для барионов $L = 0$, $B = +1$; для мезонов и фотона $L = B = 0$. Во всех реакциях с участием элементарных частиц эти квантовые числа сохраняются, то есть являются точными.

Наконец, как уже было замечено, кроме обычных частиц известны *античастицы*, которые имеют такие же массу, время жизни и значение спина, но отличаются знаком заряда (электрон – позитрон, протон – антипротон). Общей особенностью частиц и античастиц является способность к *аннигиляции* (взаимоуничтожению) при столкновении и к превращению в другие частицы с сохранением общей энергии, импульса, электрического заряда и некоторых других характеристик. Одним из примеров является образование двух фотонов при взаимодействии электрона и позитрона.

3.11. Основы теории относительности

В естествознании движение как одна из форм существования материи обычно представляется в виде изменения состояния какой-либо системы во времени и в пространстве. Для количественного описания движения вводятся специальные параметры, такие как масса, сила, скорость, ускорение, импульс (количество движения) и некоторые другие. Однако первичными и наиболее общими характеристиками движения считают время и пространство, представления о которых изменялись на разных этапах развития науки.

Из обыденного опыта, основанного на ощущении времени, не ясен его физический смысл. Научное осмысление времени и пространства берет начало в XVII в. И. Ньютон выделял время абсолютное и относительное. Под абсолютным (истинным) временем он понимал продолжительность какого-либо явления или процесса, что также имеет хотя и общий, но абстрактный характер. Относительным (или кажущимся) временем Ньютон считал меру продолжительности события, то есть уже более конкретное понятие (секунда, минута, час и т.п.). Было показано, что наиболее удобными для установления физического смысла времени являются процессы, длительно повторяющиеся с определенной

степенью, то есть периодические процессы (например, вращение Земли вокруг своей оси). На основе теоретических и экспериментальных исследований была разработана концепция современного естествознания, смысл которой состоит в том, что время определяет порядок смены физических состояний системы.

Развивая классический (галилеевский) принцип относительности Ньютон ввел понятие «система отсчета». Система отсчета – это тело, по отношению к которому определяется положение другого движущегося тела в любой момент времени. В физике особую роль играют инерциальные системы отсчета, в которых физические тела находятся друг относительно друга либо в покое, либо в равномерном прямолинейном движении. Для таких систем принцип относительности заключается в том, что во всех инерциальных системах все механические процессы происходят одинаково. Практически это означает, что два наблюдателя, находящиеся в инерциальных системах, не замечают в них никаких изменений. Для механистической концепции такое утверждение является очевидным.

Однако с развитием электромагнитных представлений возник вопрос о всеобщности принципа относительности пространства и времени. Связанно это было с кажущейся на первый взгляд несовместимостью принципа относительности с постулатом (а затем и с экспериментальным доказательством: опыт, поставленный в 1887 г. американскими физиками А. Майкельсоном и Г. Морли для доказательства существования эфирного ветра, а значит, и самого мирового эфира, дал «отрицательный» результат; зато был получен вывод о постоянстве скорости света, положенный в фундамент СТО) о постоянстве скорости света в вакууме. Разрабатывая основы *специальной теории относительности* (СТО), Альберт Эйнштейн показал, что указанного противоречия не существует и в принципе не может быть, так как скорость света вообще не зависит от того, движется ли источник света или находится в состоянии покоя. В соответствии с теорией относительности Эйнштейна понятие абсолютного времени вообще не имеет физического смысла, так как время (как физическая величина) само изменяется в разных физических условиях, в частности зависит от скорости движения системы отсчета. Таким

образом, фундаментальный вывод состоит в том, что время всегда имеет относительный характер. Можно лишь с некоторой степенью точности считать, что одинаковые во всех отношениях явления (процессы) происходят за одно и то же время. Но и такое утверждение имеет относительный характер, так как трудно (а возможно, и нельзя) создать в природе совершенно одинаковые условия в разное время.

Представления о пространстве развивались также неоднозначно. Основоположники натурфилософии определяли смысл пространства в том, что оно просто обуславливает порядок существования физических систем. В геометрии Евклида все математические объекты описывались вне зависимости от пространства. Именно из положений Евклидовой геометрии следовало понятие абсолютного пространства, которое может существовать и не изменяться как при наличии в нем тел, так и при изменении их свойств.

Развивая теорию относительности, Эйнштейн объединил время и пространство в единую систему (континуум), показав, что они не могут существовать друг без друга, а время представляет собой четвертое измерение пространства. Отсюда следует, что пространство, как и время, всегда относительно, то есть не существует никакого абсолютного расстояния или длины.

Принцип относительности, кроме того, касается не только пространства и времени, но и такой важной физической величины, как масса. Из второго закона механики Ньютона следует, что масса (как мера инерции) является постоянной величиной. Однако согласно теории относительности с возрастанием скорости масса должна увеличиваться и при скорости, близкой к скорости света, масса стремится к бесконечности. Такое положение подтверждает сделанный в рамках электромагнитной концепции вывод, что движения со скоростью больше скорости света принципиально невозможны.

В 1905 г. А. Эйнштейн изложил специальную теорию относительности, которая в корне меняла пространственно-временные представления классической физики. Опираясь на преобразования Лоренца, он сделал вывод, что размеры тел и длительность времени имеют относительный характер и зависят от

выбора системы отсчета. Основное отличие концепции специальной теории относительности от классической механики состоит в том, что описание движения с очень большими скоростями непосредственно связано с взаимодействием физического процесса и его наблюдателя. Таким образом, впервые в истории развития физики был показан диалектический характер процесса познания, проявляющийся во взаимодействии *субъекта* и *объекта познания*.

В дальнейшем Эйнштейн распространил принцип относительности пространства и времени на системы, движущиеся с ускорением, а также на электромагнитные (например, оптические) и другие физические явления и тем самым создал *общую теорию относительности* (ОТО), которая является теорией тяготения или гравитационного поля. Суть одной из главных ее идей заключается в том, что структура четырехмерного континуума «пространство-время» обусловлена распределением в ней масс материи.

Основные положения и выводы специальной и общей теорий относительности Эйнштейна можно сформулировать следующим образом.

1. Основой обеих теорий являются два постулата:

- постоянство скорости света в вакууме;
- принцип относительности, то есть инвариантность (неизменность) физических законов при переходе от одной системы к другой.

Это означает, что все тела или системы отсчета равноценны в каком бы состоянии движения они ни находились (инерциальные системы; системы, движущиеся с ускорением: любые тела с одинаковой массой падают на землю с одним и тем же ускорением – $9,8 \text{ м/с}^2$).

2. Установлена взаимосвязь пространства и времени, которые являются необходимыми условиями существования материи.

3) Свойства пространства зависят от свойств находящихся в нем тел.

4. По мере возрастания скорости движения физической системы ($v \rightarrow c$) ее масса увеличивается, длина в направлении движения сокращается, время замедляется:

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

5. Установлена взаимосвязь между массой и энергией ($E = mc^2$), которая означает, что в природе действует единый закон сохранения энергии и массы: каждой массе соответствует своя энергия, каждой энергии – своя масса, то есть выделение или поглощение энергии всегда сопровождается соответственно потерей или приобретением массы.

6. С теорией относительности связаны *принципы инвариантности* в природе и *симметрии пространства и времени*.

Инвариантность означает неизменность свойств объектов природы и физических величин при переходе от одной системы отсчета к другой. Инвариантами, в частности, являются скорость света в вакууме, масса элементарной частицы, величина заряда ядра атома и т.д.

Симметрия пространства и времени проявляется чаще всего в их однородности. Однородность пространства означает неизменность физических свойств любой замкнутой системы при ее параллельном переносе в пространстве. Однородность времени означает инвариантность физических законов относительно выбора начала отсчета времени (например, при свободном падении тела в поле тяготения его скорость и путь зависят лишь от начальной скорости и продолжительности падения, но не зависят от того, когда тело начало падать).

7) Важнейшими экспериментальными подтверждениями справедливости общей теории относительности являются:

- отклонение луча света от его прямолинейного распространения при прохождении вблизи тела с большой массой, то есть в поле тяготения;

- смещение плоскости эллиптической орбиты (траектории движения) планеты вокруг Солнца, величина которого увеличивается с уменьшением расстояния до Солнца, то есть с ростом силы тяготения;

- смещение спектральных линий излучения звезд в сторону красного цвета (так называемое красное смещение или эффект Эйнштейна), то есть умень-

шение частоты светового излучения звезд под влиянием поля силы.

3.12. Явления сверхтекучести и сверхпроводимости

Явление сверхтекучести связано с получением жидкого гелия и его свойствами, которые не могут быть объяснены на основе представлений классической физики. До открытия этого явления было известно, что вблизи абсолютного нуля ($-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) вещество при любом давлении должно находиться в твердом состоянии. Это обусловлено тем, что согласно концепциям классической физики при абсолютном нуле кинетическая энергия атомов равна нулю, то есть все атомы неподвижны. Такое расположение атомов должно быть упорядоченным и представлять некоторую пространственную решетку. Отсюда и следует, что при абсолютном нуле вещество должно быть кристаллическим. Однако оказалось, что существует исключение, а именно: гелий после своего сжижения остается жидким при всех температурах, даже весьма близких к абсолютному нулю. Известны два жидких гелия. Если гелий переходит в жидкое состояние при температуре $4,2\text{ К}$ (или $-268,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), то это – гелий-1. При температуре $2,2\text{ К}$ ($-270,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) он, оставаясь жидким, претерпевает еще одно превращение, являющееся фазовым переходом второго рода; это – гелий-2.

Если фазовый переход первого рода представляет собой переход вещества из одного агрегатного состояния в другое (например, жидкость – газ, твердое – жидкость), то при фазовом переходе второго рода происходит переход одной кристаллической модификации в другую, при этом агрегатные состояния обеих кристаллических модификаций совпадают. Иными словами, скачок, который наблюдается при фазовом переходе первого рода, отсутствует, что, в свою очередь, приводит к отсутствию скачка в величинах, характеризующих тепловое состояние тела (объем, внутренняя энергия, другие термодинамические функции). Поэтому такой переход не сопровождается выделением или поглощением тепла. В то же время при переходе от одной кристаллической модификации к другой происходит скачкообразное изменение характера температурных зависимостей некоторых физических величин. Кроме того, одним из

свойств гелия-2 является очень большая скорость теплопередачи внутри него, обусловленная относительно большим коэффициентом теплопроводности.

Однако наиболее интересным и главным свойством жидкого гелия-2 является *сверхтекучесть* – явление, открытое впервые *П.Л. Капицей*. Суть его заключается в резком снижении величины вязкости почти до нуля (то есть практически ее отсутствие). На это указывает такой экспериментальный факт, как процесс самопроизвольного перетекания жидкого гелия из одного сосуда в другой, которые разделены перегородкой (причем скорость перетекания составляет не менее 10 см/с) (рис. 2).

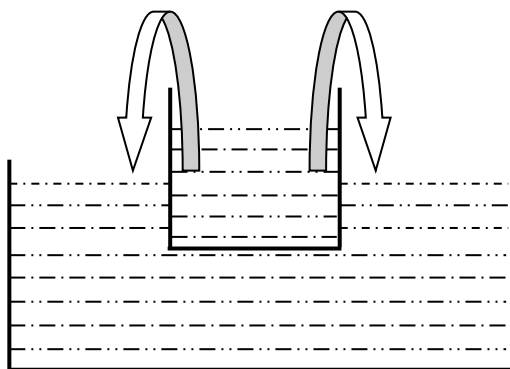


Рис. 3.2. Процесс перетекания жидкого гелия

Явление сверхтекучести можно объяснить, если предположить, что жидкий гелий-2 представляет собой так называемую квантовую жидкость, то есть жидкость, свойства которой обусловлены квантовыми эффектами в поведении ее частиц. Эту концепцию разработали *П. Капица, Л. Ландау, В. Гинзбург*.

Известно, что при понижении температуры роль квантовых эффектов всегда увеличивается, но большинство обычных жидкостей затвердевают раньше, чем начинают проявляться квантовые эффекты. Значительные квантовые эффекты проявляются при очень низких температурах, когда волна де Бройля частиц, соответствующая их тепловому движению, становится сравнимой с расстояниями между ними. Как раз в этот момент происходит так называемое квантовое вырождение жидкости. Для кристаллов квантовые эффекты – это изменения термодинамических и кинетических свойств кристалла, когда хотя бы один из его геометрических размеров становится соизмеримым с дли-

ной волны де Бройля электронов.

Наиболее известными квантовыми жидкостями являются изотопы гелия ^4He и ^3He при температуре 2–4 К. Классификация квантовой жидкости зависит от величины спина, а именно: жидкости, состоящие из частиц с целым спином (то есть бозонов), называют бозе-жидкостями (^4He), а с полуцелым спином (то есть фермионов) – ферми-жидкостями (^3He).

Явление сверхпроводимости было открыто в 1911 г. голландским физиком *Х. Камерлинг-Оннесом* (1853–1926) при изучении зависимости электрического сопротивления ртути от температуры. Было показано, что при $T = 4$ К ее сопротивление скачком обращается в нуль. Затем оказалось, что это явление проявляется у многих химических элементов, их соединений и даже сплавов при охлаждении ниже определенной температуры T_c , различной для каждого материала. При переходе в сверхпроводящее состояние оптические свойства материала резко отличаются от свойств при обычных температурах. Дальнейшие исследования этого явления показали, что нормальное состояние может быть восстановлено при пропускании достаточно сильного тока через образец или помещении его в сильное магнитное поле. При этом величины силы тока и напряженности магнитного поля также различны для каждого материала.

Поскольку явления сверхтекучести и сверхпроводимости происходят при одних и тех же низких температурах, то *Л. Ландау* с коллегами решили дать единое объяснение обоим явлениям. Вначале они предположили, что сверхпроводимость обусловлена сверхтекучестью квантовой жидкости, а затем получили уравнения, описывающие термодинамику и электромагнитные свойства сверхпроводников. В 1950 г. *Г. Фрелих* и *Дж. Бардин* установили зависимость критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние (T_c) от природы металла. Это указывало на то, что на сверхпроводимость влияют особенности кристаллической решетки, и был сделан вывод о возможности специфического притяжения между электронами, которое значительно сильнее, чем кулоновское отталкивание между ними. Затем в 1956 г. *Л. Купер* экспериментально доказал, что при этих температурных условиях между электронами действи-

тельно возникают специфические связи (так называемые куперовские пары), что явилось основой для создания в 1957 г. теории сверхпроводимости БКШ (по первым буквам фамилий ученых Бардина, Купера, Шриффера). Было показано, что явление спаривания электронов связано с наличием определенной модификации кристаллической решетки и ее влиянием на электроны. Это обусловлено тем, что кристаллическая решетка даже при температуре, близкой к абсолютному нулю, находится в колебательном состоянии (нулевые колебания). Электростатическое взаимодействие электрона с ионами решетки изменяет характер этих колебаний, что и приводит к появлению дополнительной силы притяжения, действующей на другой электрон, к связыванию электронов и, таким образом, к снижению электрического сопротивления.

В практическом отношении изучение явлений сверхтекучести и сверхпроводимости, имеющих, по существу, одну физическую природу, позволило синтезировать новые материалы, обладающие новыми уникальными свойствами.

Концепции термодинамики в современном естествознании

Термодинамика – единственная физическая теория универсального содержания, относительно которой я убежден, что в пределах применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута.

А. Эйнштейн

4.1. Общие положения

Концепции классической и квантовой физики позволяют либо точно, либо с определенной вероятностью предсказывать состояние макротел или микрочастиц. В частности, это касается закономерностей механического движения, которые можно описать, используя пространственно-временные координаты, величины массы, скорости, импульса, волновые характеристики, знание фундаментального типа взаимодействия. Однако есть процессы, особенности которых не могут быть объяснены ни классической физикой, ни квантовыми представлениями. К ним следует отнести нахождение тел в разных агрегатных состояниях, возникновение упругих сил при деформациях систем, возможность превращения одних веществ в другие и т.д. Как правило, эти и подобные процессы сопровождаются переходом систем из одного состояния в другое с изменением тепловой энергии. Именно такие процессы и наиболее общие тепловые свойства макроскопических тел изучает раздел физики и химии, который называется *термодинамикой*.

Объектом изучения термодинамики считается система, которой является тело или группа тел, способных изменяться под действием физических или химических процессов. Все, что окружает систему, образует внешнюю или окру-

жающую среду. Термодинамические системы разделяют на гомогенные и гетерогенные. *Гомогенные* – это такие системы, свойства которых в макроскопическом отношении одинаковы во всех точках или изменяются непрерывно при переходе от одной точки к другой (отсутствует скачкообразное изменение). *Гетерогенные* составлены из разных по своим свойствам элементов, разделенных поверхностями раздела, причем на этих границах происходит резкое изменение свойств.

Важной характеристикой является *термодинамическое состояние системы*, которое представляет собой комплекс количественных значений всех ее термодинамических свойств. При изменении хотя бы одного из этих свойств изменяется состояние системы, то есть она переходит из одного состояния в другое. Обычно термодинамические процессы проводятся при постоянстве каких-либо параметров системы, что отражается в их названии. *Изотермическим* называется процесс, протекающий при постоянной температуре. *Изобарным* – при постоянстве внешнего давления. *Изохорным* – при постоянстве объема. *Изоэнтропийным* – при постоянстве энтропии системы. *Адиабатным* – при отсутствии обмена энергией в форме теплоты между системой и окружающей средой.

Понятие *энергии* является ключевым в термодинамике. Известны различные ее виды, выделяемые в соответствии с разными видами движения и взаимодействия. В механике это: энергия поступательного, вращательного или колебательного движения тел; энергия положения тел в силовом поле (потенциальная энергия в поле тяготения, в поле электрических сил, в поле магнитных сил); энергия упругой деформации (растяжения, сжатия, сдвига). В прикладной физике различают механическую энергию, потенциальную энергию тяжести, внутреннюю энергию нагретых тел, акустическую, лучистую, электрическую и магнитную энергии. В технико-экономической классификации видов энергии обычно отражается отношение человека к природе: энергия солнечной радиации, гидравлическая энергия, энергия ветра, энергия топлива, химическая энергия, мускульная энергия человека и животных и другие.

В термодинамике различают два основных вида энергии – внешнюю и внутреннюю. В понятие *внешней энергии* входят энергия движения тела (системы) как целого и энергия положения тела в поле сил, при перемещении в котором термодинамическое состояние тела не изменяется. *Внутренняя энергия* системы – это сумма энергий движения и взаимодействия всех элементов, составляющих систему, то есть сумма энергии поступательного и вращательного движения молекул и колебательного движения атомов, энергии молекулярного притяжения и отталкивания, внутримолекулярной химической энергии, внутриатомной энергии оптических уровней, внутриядерной энергии.

4.2. Основные положения классической термодинамики

В работах *Р. Клаузиуса, Я. Вант-Гоффа, С. Аррениуса, Д. Гиббса, Г. Гельмгольца, А. Ле Шателье* и других ученых были сформулированы основы классической термодинамики, которая имеет дело со свойствами систем, находящихся в состоянии равновесия. Другими словами, термодинамическое описание систем и явлений основано на представлении о состоянии равновесия. Термодинамика отвечает на вопрос: куда направлен процесс, прежде чем будет достигнуто равновесие? Поэтому она не оперирует в явной форме временем как физическим параметром и не рассматривает механизмы процессов. Если система бесконечно медленно переходит из одного состояния в другое через непрерывный ряд равновесных состояний и если при этом совершается максимальная работа, то такой процесс называется *термодинамически равновесным процессом*. Между двумя соседними состояниями равновесия значения функций состояния системы различаются на бесконечно малую величину, и всегда можно вернуть систему в исходное состояние путем бесконечно малого изменения функций состояния. Система, совершившая равновесный процесс, может вернуться в исходное состояние, пройдя в обратном направлении те же равновесные состояния, что и в прямом. Такое свойство равновесного процесса называется его обратимостью, и, таким образом, *термодинамически обратимым процессом* считается тот, в результате которого система и окружающая среда воз-

вращаются в исходное состояние, то есть ни в системе, ни в окружающей среде не остается никаких изменений. С другой стороны, процесс, в результате которого система проходит через ряд неравновесных состояний, называется *термодинамически неравновесным*. Если же система и окружающая ее среда не могут возвратиться в исходное состояние, то есть в них останутся какие-либо изменения, то такой процесс считается *термодинамически необратимым*.

С равновесной термодинамикой связаны прежде всего молекулярно-кинетические теории о строении и свойствах макросистем (например, молекулярно-кинетическая теория газов). Вместе с тем область применения термодинамики гораздо шире, чем МКТ. Дело в том, что в отличие от многих положений физики и химии термодинамика не описывает протекание процесса во времени (то есть динамику), а также особенности строения и структуры изучаемой системы. Другими словами, термодинамика рассматривает только начальное и конечное состояния системы, которые характеризуются специальными термодинамическими параметрами. Обычно в качестве таких параметров состояния выступают температура, давление, объем и так называемые *характеристические функции*, такие как *энтальпия*, *энтропия*, внутренняя энергия, свободная энергия (Гельмгольца), термодинамический потенциал (Гиббса). Эти функции называются характеристическими, так как именно они характеризуют термодинамическое состояние системы и обуславливают вероятность протекания того или иного процесса, сопровождающегося изменением тепловой энергии. Функции состояния позволяют устанавливать направление самопроизвольных процессов и определять степень их завершенности в реальных термодинамических системах.

Принципиальным отличием термодинамики от других областей естествознания является то, что термодинамика является феноменологической наукой. Это означает, что все физические величины, функции и законы термодинамики основаны только на опыте, то есть никакой строгой теории в отношении их нет. Суть эмпирических положений термодинамики можно охарактеризовать следующим образом:

1. В отличие от механического движения все спонтанные тепловые процессы необратимы (прежде всего распространение тепла в окружающей среде).

2. В соответствии с различными формами движения и различными видами энергии существуют и различные формы обмена энергией. В классической термодинамике выделяют только две формы передачи энергии – работу и теплоту. Любой вид энергии является однозначной функцией состояния системы, то есть изменение энергии не зависит от пути перехода системы из одного состояния в другое. Вместе с тем теплота и работа являются неравноценными формами передачи энергии, так как работа может быть непосредственно направлена на пополнение запаса любого вида энергии, а теплота – на пополнение запаса только внутренней энергии системы.

3. Любая физико-химическая система, предоставленная самой себе (то есть в отсутствие внешних сил и полей), всегда стремится перейти в состояние термодинамического равновесия. Это состояние характеризуется однородностью распределения температуры, давления, плотности и концентрации компонентов.

4. Характеристические функции состояния системы связаны между собой различными, но определенными соотношениями, например:

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S; \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔU , ΔH и ΔS – изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии; T – температура, что указывает на их взаимообусловленность и универсальность в отношении описания как начального, так и конечного состояния системы.

Таким образом, имея в виду единый закон природы – закон сохранения энергии и массы, можно сделать также вывод, что современную термодинамику сложных систем нужно рассматривать как науку, изучающую преобразования материи и энергии в макросистемах.

Физический смысл концепций классической (равновесной) термодинамики составляют три основных закона, которые относятся к общим законам природы и не могут быть выведены из каких-либо определенных, то есть теоретических (классических или квантовых) представлений.

Первый закон термодинамики в качественном отношении совпадает с основополагающим законом природы, а именно с законом сохранения энергии. В приложении к термодинамике его формулировка такова: количество теплоты, сообщенное системе (телу), идет на увеличение ее (его) внутренней энергии и на совершение ей (им) работы (A):

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

Второй закон термодинамики имеет несколько формулировок. Например, любое действие, связанное с переходом энергии из одной формы в другую, не может происходить без ее потери в виде тепла, рассеянного в окружающей среде. Это означает, что процессы трансформации энергии могут происходить самопроизвольно, только если энергия переходит из концентрированной (упорядоченной) формы в рассеянную (неупорядоченную) форму. Другая формулировка второго закона термодинамики связана с принципом Клаузиуса: процесс, при котором не происходит никаких изменений, кроме передачи тепла от горячего тела к холодному, необратим. Другими словами, теплота не может переходить самопроизвольно от холодного тела к более горячему.

Перераспределение энергии в системе характеризуется величиной, получившей название *энтропии*, которая как функция состояния термодинамической системы была впервые введена в 1865 г. именно *Р. Клаузиусом*. Энтропия тем больше, чем большее количество энергии необратимо рассеивается в виде тепла. Таким образом, уже из этих формулировок второго закона термодинамики можно сделать вывод, что любая система, свойства которой изменяются во времени, стремится к равновесному состоянию, в котором энтропия системы принимает максимальное значение. В связи с этим второй закон термодинамики часто называют *законом возрастания энтропии*, а саму энтропию рассматривают как меру неупорядоченности физико-химической системы.

Третий закон термодинамики связан с понятием «абсолютный нуль». Физический смысл этого закона, показанный в теореме Нернста, состоит в принципиальной невозможности достижения абсолютного нуля ($-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$), при котором должно прекратиться поступательное тепловое движение молекул,

а энтропия перестанет зависеть от параметров физического состояния системы (в частности, от изменения тепловой энергии).

Чаще всего переход системы из одного состояния в другое характеризуют не абсолютной величиной энтропии (S), а ее изменением (ΔS), которое равно отношению изменения количества теплоты (сообщенного системе или отведенного от нее) к абсолютной температуре системы: $\Delta S = \Delta Q / T$, Дж/град. Это – так называемая термодинамическая энтропия. Кроме того, энтропия имеет и статистический смысл, так как количественной характеристикой теплового состояния системы может служить число микросостояний, которыми реализуется данное макросостояние. При переходе из одного макросостояния в другое статистическая энтропия также возрастает.

Для понимания физического смысла энтропии необходимо иметь в виду, что в природе существуют четыре класса термодинамических систем:

- а) изолированные системы (существующие без обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой);
- б) адиабатические системы (отсутствует только теплообмен);
- в) закрытые (или замкнутые) (отсутствует только перенос вещества);
- г) открытые системы (обмениваются с окружающей средой веществом, энергией и информацией).

Без учета обменных процессов второй закон термодинамики очевиден только для изолированных и адиабатических систем, для которых энтропия либо постоянна, либо (что значительно чаще) возрастает: $\Delta S \geq 0$. В таких системах изменения характеризуются увеличением в них беспорядка, хаоса или дезорганизации, пока система не достигнет термодинамического равновесия (или энтропия не достигнет максимального значения).

Некоторые естествоиспытатели полагали, что вся Вселенная как изолированная система, вследствие увеличения энтропии, стремится к хаосу, и в конечном счете должна наступить так называемая тепловая смерть. Такой мрачный и, как оказалось, неправильный вывод связан с двумя обстоятельствами: во-первых, понятие изолированной системы (как элемента природы) всегда яв-

ляется абстрактным (в реальности нет абсолютно изолированных систем); во-вторых, установлено, что в открытых системах энтропия уменьшается за счет притока вещества, энергии, информации. Последнее прежде всего касается биологических систем, то есть живых организмов, которые представляют собой открытые, сильно неравновесные системы. Такие системы характеризуются градиентами концентраций химических веществ, температуры, давлений и других физико-химических величин.

4.3. Особенности неклассической термодинамики

Современная термодинамика описывает поведение реальных, открытых систем. Такие системы всегда обмениваются с окружающей их средой энергией, веществом и информацией, причем такие обменные процессы характерны не только для физических или биологических систем, но и для социально-экономических, культурно-исторических и гуманитарных систем, так как происходящие в них процессы, как правило, необратимы.

Схематично механизм взаимодействия открытой системы с внешней средой представляется следующим образом: 1) такая система при своем функционировании забирает из окружающей ее среды вещества, энергию и информацию (негэнтропию), необходимые для процессов упорядочивания, а затем отдает ей отработанные – сбрасывает избыток энтропии; 2) эти процессы также сопровождаются производством энтропии (то есть потерей энергии и образованием различных отходов); 3) самое важное, что образующаяся энтропия выводится в окружающую среду и система извлекает из нее новые вещества, энергию и информацию, необходимые для своего оптимального функционирования.

История *неравновесной термодинамики* началась первой половине XIX в. Наряду с работами *С. Карно*, *Дж. Джоуля*, *Р.Ю. Майера*, *Р. Клаузиуса*, положивших начало равновесной термодинамике, *Ж.Б. Фурье*, *Дж. Стокс*, *А. Навье* и другие сформулировали кинетические уравнения для описания таких неравновесных процессов, как теплопроводность (уравнение Фурье) и течение вязкой жидкости (уравнение Навье – Стокса). Позднее *А. Фик* распространил

метод Фурье на явления диффузии (уравнение Фика). В дальнейшем указанные методы термодинамики неравновесных (необратимых) процессов были использованы при анализе термоэлектрических явлений (*У. Томсон*) и электрохимических процессов (*Г. Гельмгольц*). Существенный вклад в развитие термодинамики необратимых процессов внесли работы *Л. Онзагера*. Исследователь впервые ввел понятие термодинамической силы, которая характеризует степень отклонения системы от ее термодинамического равновесия и является причиной необратимых изменений в системе. Концепции линейной термодинамики неравновесных процессов, предложенные Онзагером, на феноменологическом уровне описывают поведение молекулярных систем и устанавливают связь между кинетическими коэффициентами, определяющими интенсивность перекрестных процессов переноса теплоты, массы, количества движения, химических реакций.

Основная задача термодинамики необратимых процессов состоит в том, чтобы на основе концепций механики и термодинамики (дополненных принципами линейности и симметрии) сформулировать систему уравнений, описывающих зависимости термодинамических параметров от пространственно-временных координат. Применительно к открытым (в основном биологическим) системам концепции неравновесной термодинамики развили такие естествоиспытатели, как *Т. де Донде*, *С. де Гроот*, *К. Денбиг*, *П. Мазур*, *П. Гленсдорф* и *И. Пригожин*.

Другое направление современной термодинамики основано на возможности применения классической (равновесной) термодинамики к реальным открытым системам. В настоящее время науке известны многие факты, позволяющие в определенной степени пренебрегать необратимостью некоторых физических процессов и химических превращений. Многие известные изменения в системах можно изучать с определенным приближением, нужно лишь установить интервалы или диапазоны изменений свойств системы, в которых их можно считать равновесными. Обычно такие состояния называются *квазиравновесными*, когда интересующий нас процесс (изучаемый по изменению какого-либо

параметра) устойчив и имеет такое время, в сравнении с которым время других процессов в системе либо очень большое, либо пренебрежимо малое.

Исходя из этих рассуждений, можно сделать два важных вывода:

1. Один и тот же процесс можно считать равновесным или неравновесным в зависимости от выбранной шкалы времени и в соответствии с характером решаемой задачи применять различные способы описания.
2. Второй закон термодинамики применим и к реальным, открытым системам, но только при условии рассмотрения континуума «открытая система – окружающая среда». Для такой совокупности суммарная энтропия всегда будет возрастать, так как для первого компонента $\Delta S_1 < 0$, для второго компонента $\Delta S_2 > 0$ и при $|\Delta S_1| \ll |\Delta S_2|$ имеем: $\Delta S = (\Delta S_1 + \Delta S_2) > 0$.

В связи с понятием энтропии в термодинамике новый смысл приобретает понятие времени. Как уже отмечалось, в классической механике направление времени не учитывается и состояние механической системы можно определить как в прошлом, так и в будущем. В термодинамике время выступает в форме *необратимого* процесса возрастания энтропии в системе, то есть чем больше энтропия, тем больший временной отрезок прошла система в своем развитии.

4.4. Термодинамическая теория эволюции живых систем

Общее число живых организмов в каждом биоценозе, скорость их развития и воспроизводства зависят от количества энергии, поступающей в экологическую систему, и интенсивности циркуляций в ней химических элементов и их соединений, которые могут воспроизводиться и использоваться огромное число раз. Круговороты веществ и трансформация энергии в природе подчиняются фундаментальным законам термодинамики, физико-химическая сущность которых была рассмотрена ранее.

Вместе с тем живые организмы представляют собой открытые неравновесные макросистемы, в которых отсутствуют градиенты концентраций химических веществ, температуры, давления, электрического потенциала. Ос-

нователи нелинейной неравновесной термодинамики *И. Пригожин, П. Гленсдорф* и другие показали возможность спонтанного возникновения упорядоченных диссипативных структур благодаря кооперативному движению больших групп молекул. Такие процессы самоорганизации лежат в основе нового междисциплинарного научного направления, названного *синергетикой*. Синергетические представления рассмотрим далее.

Согласно определению, данному М.В. Волькенштейном, «жизнь – это форма существования макроскопических гетерогенных открытых систем, далеких от равновесия, способных к их самоорганизации, саморегуляции и самовоспроизведению». Функционирование живых систем в окружающей среде не противоречит законам термодинамики. Согласно ее второму началу любая эволюционирующая система стремится к равновесному состоянию, в котором все ее физические параметры принимают постоянные значения; при этом положение равновесия достигается в том случае, когда энтропия совокупности «система – окружающая среда» становится максимальной.

В последние годы достижения физики биополимеров способствовали развитию новейших представлений о том, что биологические системы и их эволюцию можно изучать методами классической термодинамики (*Д. Даниэлли, К. Денбиг, А. Митчел* и др.). В России представления, связанные с термодинамической теорией эволюции живых систем, развивает *Г.П. Гладышев*. Такая теория дает ответы на вопросы: почему происходит эволюция? куда она направлена? что является ее движущей силой?

В настоящее время накоплено достаточно большое количество экспериментальных данных, указывающих на то, что филогенез, онтогенез и биологическая эволюция в целом имеют ярко выраженную термодинамическую направленность. Смысл эволюции живых существ с позиции термодинамики можно понять в рамках модели структурообразования, то есть из структур низших иерархий возникают структуры высших иерархий. Согласно этой модели каждой природной иерархической структуре соответствует энергия ее образования, среднее время жизни (релаксации), объем биомассы в ней и т.д. С

известным приближением это позволяет изучать живые системы как квазизакрытые. Общим материалом при построении иерархических структурных уровней в процессе биологической эволюции является химическое вещество. Поэтому физическая теория эволюции живых существ основывается на анализе и обобщении экспериментальных данных, связанных с превращениями отдельных химических веществ в процессах перехода от простой структуры к более сложной.

Наибольшего внимания заслуживают следующие факты:

1. В ходе своего развития такие биосистемы, как органелла, клетка, биоткань организма, биомасса популяции и другие, обогащаются энергоемкими химическими веществами, вытесняющими воду. Поэтому кинетические особенности процесса старения организма коррелируют с изменениями в ней воды и жира. То же касается содержания воды в мозге живого существа (в зависимости от степени его относительного развития). При этом, несмотря на рост энергоемкости биосистемы, ее химическая стабильность уменьшается, а термодинамическая стабильность надмолекулярных структур тканей организма увеличивается.

2. Известны данные, касающиеся изменений температуры плавления (денатурации) биотканей в процессах онтогенеза и филогенеза.

3. Закон Вебера – Фехнера связывает реакции биологических систем на внешние воздействия окружающей среды (свет, шумы, ионизирующие излучения, механические напряжения, психострессы и т.п.).

4. Экспериментально установлена зависимость между характерными размерами структур различных иерархий и средней продолжительностью их жизни в биомассе: структуры низшей иерархии живут (существуют) в биосистемах значительно меньше структур высшей иерархии. Как было показано, под иерархическими структурами имеются в виду атомы, обычные молекулы, макромолекулы, микротельца, клетки, ткани... организм, популяция и т.д. Это, по-существу, означает, что эволюция структур низших иерархий происходит значительно быстрее эволюции самого организма, биомасса

которого является окружающей средой для атомов, молекул, клетки и т.д. Именно в связи с этим для каждой биосистемы можно выделить свою среду обитания, то есть своеобразный термостат с определенными параметрами. Такие квазизакрытые подсистемы, обладающие своими термостатами, объединяясь, образуют термодинамическую систему более высокого иерархического уровня.

Гладышев предложил следующую модель биологической эволюции. Под действием солнечной энергии термодинамически стабильные вещества превращаются в разнообразные продукты фотосинтеза, которые в соответствии с законами химической термодинамики преобразуются в различные вещества. Далее по законам локальной термодинамики надмолекулярных процессов отбираются более стабильные надструктуры (прежде всего нуклеиновые кислоты), которые накапливаются в микро- и макрообъемах систем. Состав и строение нуклеиновых кислот медленно приспосабливаются к окружающей среде, в том числе и к природе белков, состав которых определяется самой ДНК. Это объясняет существование обратной связи (имеющей также термодинамическую основу) между структурой белков и ДНК. Параллельно процессам синтеза протекают процессы распада химических соединений. Однако живые системы противостоят этому и стремятся сохранить свое состояние, что также имеет термодинамическую природу, то есть биосистемы воспроизводят погибающие надмолекулярные структуры и термодинамика способствует отбору наиболее стабильных из них. При этом макромолекулярным цепям термодинамически выгодно спариваться с себе подобными цепями и окружать себя обновленным «молодым» веществом живых организмов. Эволюция отбирает те оптимальные с точки зрения термодинамики пути процессов, которые способствуют делению клеток и сохранению ДНК. Все это протекает на фоне колебаний параметров окружающей среды (термостатов) и вместе с другими факторами обеспечивает поддержание жизни.

Рассмотренная термодинамическая теория биологической эволюции

имеет ряд весьма интересных и важных следствий как для развития науки, так и для самой жизни человека. Одно из них касается предопределенности функций макромолекул ДНК в возникновении и развитии живых существ. Если принять термодинамическую направленность эволюции жизни, то для реализации функций ДНК необходимы три условия: наличие водной среды, химическая стабильность пар АТ и ЦГ, окружение двойной спирали ДНК надмолекулярными структурами, обладающими термодинамической стабильностью. Поэтому структура двойной спирали по сравнению с другими надмолекулярными образованиями отличается повышенной термодинамической стабильностью, что обуславливает точность репликации (самокопирования) и высокую стойкость к мутациям. Именно «термодинамический консерватизм» ДНК определяет роль этого биополимера как хранителя генетической информации.

Другое важнейшее следствие прикладного характера заключается в возможности с помощью функции Гиббса (G_{im}) не только определять физиологический возраст, но и регулировать его. Средняя продолжительность жизни организма определяется его наследственными признаками, а также физико-химическими и социальными условиями окружающей среды. При этом каждому возрасту соответствует состояние организма, характеризующееся определенным значением G_{im} . Поэтому любое изменение условий окружающей среды приводит к изменению удельной G_{im} в ту или иную сторону. Ясно, что при уменьшении значения функции (связанном с переходом биологической системы из одного состояния в другое) должно происходить увеличение средней продолжительности жизни. Из экспериментально полученных зависимостей удельной G_{im} от времени жизни организмов следует, что всегда существует достаточно широкая область ее колебаний, в пределах которой возможна адаптация организма к не критическим изменениям окружающей среды (незначительные изменения температуры, давления, режима питания, напряженности физических полей и т.п.).

Концепции естествознания в космологии

Каждая молекула во Вселенной носит на себе печать меры и числа настолько же ясную, как и метр парижских архивов.

Дж. Максвелл

5.1. Происхождение Вселенной и ее структура

Вселенная представляет собой всю окружающую среду материального мира, доступную наблюдению. В нее входят разнообразные типы объектов, различающихся размерами и массой: элементарные частицы, атомы и молекулы, вещества в разных агрегатных состояниях, планеты, звезды, галактики, а также физические поля (гравитационное, электромагнитное и др.). Несмотря на то, что во Вселенной протекают процессы, недоступные для их исследования в земных условиях, для ее изучения используется обычная методология, принятая в естественных науках. Это обусловлено тем, что Вселенная в целом подчиняется тем же универсальным законам, которые описывают поведение ее отдельных компонентов. Раздел физики и астрономии, занимающийся изучением Вселенной как целого, называется *космологией*. Основное значение для космологических процессов имеет гравитация. Долгое время Вселенная считалась бесконечной. В настоящее время принято, что Вселенной соответствуют расстояния порядка 10^{28} м и интервалы времени порядка до 10^{18} с (3×10^{14} ч, 10^{13} сут, 3×10^{10} лет).

Начальную стадию образования Вселенной называют *Большим взрывом*, когда плотность вещества, энергия излучения и температура были бесконечно большими (состояние сингулярности). Это наиболее разработанная концепция, получившая название «*модель горячей Вселенной*», в основе которой лежат результаты работ А. Эйнштейна, А. Фридмана, Э. Хаббла, Г. Гамова и Б. Шмидта.

Схематично процесс образования Вселенной в результате Большого взрыва представляется следующим образом. В самый начальный момент взрыва размер Вселенной был практически равен нулю, а сама она была бесконечно горячей. По мере расширения (за каждые 10^{-32} с диаметр Вселенной увеличивался в 10^{50} раз) температура излучения резко понижалась и через несколько секунд достигла примерно 10 млрд градусов. Такое быстрое расширение, впоследствии названное *инфляцией*, и соответствует взрывному процессу. В это время Вселенная состояла из фотонов, электронов, протонов, нейтронов, нейтрино и их античастиц. Дальнейшее ее расширение и падение температуры сопровождалось увеличением скорости процесса аннигиляции электрон-позитронных пар, что привело к увеличению фотонов и к резкому уменьшению количества электронов. Примерно через сто секунд после Большого взрыва температура снизилась до 1 млрд градусов, при которой протоны и нейтроны начали объединяться друг с другом, образуя ядра дейтерия. Затем одна часть ядер дейтерия превращалась в ядра водорода, а другая часть присоединяла к себе еще протоны и нейтроны, превращаясь в ядра гелия (содержащие два протона и два нейтрона), а также в небольшие количества более тяжелых элементов (лития и бериллия). Через несколько часов после Большого взрыва образование водорода, гелия и других элементов прекратилось, и в течение примерно миллиона лет расширение Вселенной не сопровождалось особыми изменениями в химическом составе. Наконец, когда температура снизилась до нескольких тысяч градусов, электроны и ядра стали объединяться, образуя атомы.

Модель горячей Вселенной была экспериментально подтверждена открытием в 1965 г. *реликтового излучения* – микроволнового фонового излучения с температурой около 3 К, а также наличием большой концентрации гелия везде и дейтерия в межзвездном пространстве.

Охлаждение Вселенной, изменение ее плотности и возникновение гравитационного притяжения между отдельными ее областями привели к прекращению ее расширения и началу сжатия. Такие процессы продолжались

довольно долго, и примерно через миллиард лет после Большого взрыва в результате охлаждения вещества, его сжатия и *флуктуаций* (случайных отклонений от средней величины) его плотности началось образование галактик, которые довольно равномерно заполняли все пространство Вселенной.

Развитие современной космологии фактически начинается с создания сначала специальной, а затем и общей теории относительности. Именно *Эйнштейн* предложил первую *релятивистскую модель Вселенной*, исходя из классических представлений о ее стационарности, то есть неизменности свойств во времени. Согласно гипотезе *Эйнштейна*, Вселенная пространственно конечна, но не имеет четко выраженных границ. Естественно, что такое представление является абстрактным, и оно было подвергнуто критике со стороны российского математика и физика *Александра Фридмана*, разработавшего основы нестационарной релятивистской космологии (1922). Исходя из возможности изменения радиуса кривизны мирового пространства во времени, он показал, что решения уравнений общей теории относительности позволяют считать, что существует вероятность трех моделей Вселенной. В двух из них радиус кривизны пространства монотонно растет и Вселенная бесконечно расширяется (в одной модели – из точки, в другой – начиная с некоторого конечного объема). Третья модель касается вероятности существования пульсирующей Вселенной, радиус кривизны которой периодически изменяется. Расчеты Фридмана были подтверждены наблюдательно, *эффектом красного смещения*, открытым американским ученым *Э. Хабблом* в 1929 г. Было показано, что при расширении Вселенной все галактики (за исключением нескольких самых близких к нашей галактике) удаляются друг от друга с определенными скоростями. Эти скорости (v) можно найти по доплеровскому смещению спектральных линий в спектрах галактик, и на расстояниях R порядка $10 \text{ Мпк} = 3 \times 10^{23} \text{ м}$ они удовлетворяют закону Хаббла: $v = H \cdot R$ (1 пк (парсек) – единица длины, равная расстоянию, на котором параллакс составляет 1 с, что соответствует 3,26 светового года, или $3,9 \times 10^{13} \text{ км}$).

Постоянная Хаббла (H) зависит только от времени, и в настоящий момент

ее значение находится в пределах $(67,8 \pm 0,77)$ км/с×Мпк. Расчеты этих скоростей позволили определить возраст Вселенной (отсчитанный от состояния сингулярности), который, по последним расчетам, составляет ~13,8 млрд лет. Эта величина свидетельствует о конечности времени, прошедшего с момента Большого взрыва, поэтому возникло понятие *космологического горизонта* – границы, отделяющей видимую в данный момент область пространства от области, которую в настоящее время невозможно наблюдать. Однако, по мере того как к наблюдателю (к нам) доходит свет от более далеких частей Вселенной, космологический горизонт расширяется. В настоящее время он составляет около 6000 Мпк, то есть охватывает больше половины доступного для наблюдений объема пространства Вселенной.

Изучение плотности вещества, из которого состоит Вселенная, показало, что ее величина резко падает при переходе от малых объектов к большим: в атомных ядрах, а также в нейтронных звездах – 10^{14} г/см³, на планетах и многих звездах – около 1 г/см³, в Галактике – порядка 10^{-24} г/см³ и в размере всей видимой Вселенной средняя плотность вещества близка к так называемой критической плотности, оцениваемой величиной порядка 10^{-29} г/см³.

Следует отметить, что концепция нестационарной Вселенной не противоречит концепции о ее однородности. Однородность Вселенной проявляется, во-первых, в принципиально одинаковых структурных элементах звезд и галактик, одних и тех же физических законах и физических параметрах и, во-вторых, в однородном распределении вещества по всей Вселенной. Это позволяет сделать принципиальный вывод о том, что наша планета Земля не занимает во Вселенной привилегированного положения.

Галактики – скопления огромного количества звезд и туманностей – различаются размерами и внешним видом. Их условно разделяют на несколько типов: эллиптические, спиральные, неправильные, взаимодействующие, радиогалактики и другие. *Эллиптические галактики* представляют собой эллипсоиды с разной степенью сжатия; по структуре они наиболее простые; плотность звезд в них монотонно убывает от центра. Самым многочисленным

типом считаются *спиральные галактики*; к ним относятся наша Галактика и Туманность Андромеды. *Неправильные галактики* не имеют строгого центра, и их строение не отличается определенными закономерностями. К ним относятся Большое и Малое Магеллановы облака, являющиеся спутниками нашей Галактики и имеющие по сравнению с ней значительно меньшие массу и размеры. *Взаимодействующие галактики* обычно находятся на небольших расстояниях друг от друга, а некоторые из них перекрываются. *Радиогалактики* обладают очень мощным радиоизлучением; одна из известных радиогалактик находится в созвездии Лебедя, другая – в созвездии Кентавра. Радиоизлучение вызвано разными причинами. В частности, предполагают, что радиоволны излучает находящийся в межзвездном пространстве ионизированный горячий газ (в основном водород), который образуют горячие звезды и космические лучи. В последние годы обнаружено, что все галактики распределены неравномерно и есть места во Вселенной, где они вовсе отсутствуют.

Наша Галактика *Млечный Путь* включает приблизительно 150 млрд звезд и представляет собой гигантский диск, который, в свою очередь, состоит из ядра и нескольких спиральных ветвей. Диаметр ее около 120 000 световых лет (световой год (св. год) – расстояние, которое проходит свет за один календарный год, составляет $9,5 \times 10^{12}$ км); толщина – 10 000 световых лет; масса – порядка 10^{11} масс Солнца. Скорость вращения Галактики имеет разную величину в зависимости от расстояния до ее центра (то есть разные части Галактики вращаются с разной скоростью), причем никакой строгой зависимости не существует. Следовательно, различные участки Галактики имеют и разные периоды вращения. Звезды и туманности внутри Галактики движутся в совершенно разных направлениях. Сама же Галактика довольно медленно вращается вокруг своей оси, затрачивая на полный оборот 180 млн лет.

Звездная плотность в Галактике тоже неравномерна: например, в области ее ядра она достигает двух тысяч звезд на один парсек, что почти в 20 тыс. раз больше средней звездной плотности в окрестностях Солнца. Вообще, вблизи Солнца среднее расстояние между звездами в 10 млн раз больше, чем средний

диаметр звезд. Именно поэтому звезды почти никогда не сталкиваются друг с другом.

В современной космологии принята следующая *классификация звезд*.

1. Переменные звезды – те, у которых постоянно изменяются блеск, энергия и спектр излучения. Связано это с их периодической пульсацией, то есть с расширением или сжатием звезды, сопровождающимися изменением температуры.

2. Двойные звезды – система из двух звезд, обращающихся вокруг общего центра их масс.

3. Затменно-двойные звезды – те, у которых суммарный блеск постоянно меняется вследствие периодического загораживания одной звезды другой.

4. Кратные звезды – система из трех и более звезд.

5. Красные карлики – звезды, диаметр которых в 2–3 раза меньше, а плотность в 2–3 раза больше, чем у Солнца.

6. Белые карлики – звезды, масса которых близка к массе Солнца, диаметр равен 0,01 диаметра Солнца, плотность равна 10 т/см^3 , светимость составляет 10^{-4} светимости Солнца.

7. Красные гиганты – звезды, диаметр которых в сотни раз больше диаметра Солнца, плотность в тысячи раз меньше, а светимость в десятки и сотни раз больше светимости Солнца.

8. Нейтронные звезды представляют собой огромные скопления нейтронов; их масса близка к массе Солнца, а диаметр в 200 000 раз меньше, поэтому плотность их составляет порядка 10^8 т/см^3 .

9. Пульсары – звезды, электромагнитное излучение которых периодически изменяется во всем известном интервале длин волн (от радиоволн до гамма-излучения).

10. Квазары – квазизвездные (то есть похожие на звезды) источники радиоизлучения; их масса и диаметр в десятки миллионов раз больше, чем у Солнца, а энергия излучения превышает суммарную энергию излучения нескольких галактик.

5.2. Характеристики Солнечной системы

Солнечная система находится на «окраине» нашей Галактики – на расстоянии около 26 000 св. лет от центра. По спектральной классификации наша звезда относится к типу «желтых карликов».

Важнейшим событием в понимании структуры Солнечной системы явилась разработка гелиоцентрической системы Коперником, в основе которой лежали следующие положения: в центре мироздания находится Солнце, а не Земля; шарообразная Земля вращается вокруг своей оси, что обуславливает кажущееся суточное движение всех светил; Земля, как и другие планеты, обращается вокруг Солнца, что объясняет видимое движение Солнца среди звезд.

В настоящее время известно, что Солнечная система включает в себя Солнце, планеты и их спутники, а также другие космические объекты (астероиды, кометы, метеориты и даже космическую пыль). Вопрос о том, где заканчивается Солнечная система и начинается межзвездное пространство, до сих пор окончательно не решен, так как ее граница зависит от влияния двух различных явлений – солнечного ветра и солнечного тяготения. Даже за пределами гелиопаузы (граница, отделяющая межзвездное пространство от вещества Солнечной системы) Солнце в состоянии удерживать своим притяжением другие космические объекты.

Согласно современным представлениям образование Солнечной системы началось около 5 млрд лет тому назад и состояло из следующих стадий. Первоначальное газопылевое облако достигло заметной плотности и начало сжиматься под действием гравитационных сил. В процессе сжатия размеры газопылевого облака уменьшались, а скорость вращения облака увеличивалась. Из-за вращения скорости сжатия облака параллельно и перпендикулярно оси вращения различались, что привело к уплотнению облака и образованию диска. При достижении некоторой предельной плотности частицы пыли начали сталкиваться друг с другом, и кинетическая энергия сжимающегося газопылевого облака привела к росту температуры, причем наиболее интенсивно нагревалась цен-

тральная область диска. При достижении температуры в несколько тысяч градусов центральная область диска начала светиться. Образовалась так называемая протозвезда (протосолнце), на которую продолжалось падение вещества облака, увеличивая давление и температуру в центре. Когда температура в центре протозвезды достигла миллионов градусов, начались термоядерные реакции горения водорода. Внешние же области диска оставались относительно холодными, и в результате того, что разные области облака обладали разной силой тяготения (притяжения), наиболее крупные сгущения в этих внешних областях образовали планеты.

Установлено, что Солнце движется практически равномерно по большому кругу небесной сферы, называемому эклиптикой, с запада на восток (то есть в сторону, противоположную вращению небесной сферы, совершая полный оборот примерно за 200 млн лет (галактический год).

Радиус Солнца равен 7×10^8 м, объем – $1,4 \times 10^{27}$ м³, площадь поверхности – 6×10^{18} м², а масса – 2×10^{30} кг. Средняя плотность нашей звезды – 1,4 мг/м³, в центре же плотность достигает 160 мг/м³, а давление $3,4 \times 10^{16}$ Па. Мощность, или полное излучение, – $3,8 \times 10^{26}$ Дж/с. Средняя температура поверхности Солнца – около 6000 К, в центре – порядка 10^7 К. Относительно ближайших звезд Солнце движется со скоростью 19,5 км/с, скорость обращения вокруг центра Галактики – 250 км/с, период обращения вокруг центра Галактики – 200 млн лет. Химический состав Солнца (по массе): примерно 70% атомов водорода, 27% атомов гелия, 3% остальных элементов.

Планеты Солнечной системы делятся на нижние, или внутренние (Меркурий, Венера), и верхние, или внешние (все остальные планеты, кроме Земли). Движение как нижних, так и верхних планет с запада на восток называется прямым движением, а с востока на запад – обратным, и эти движения чередуются по определенным циклам. Все внутренние планеты имеют сравнительно небольшие размеры и высокие плотности за счет содержания тяжелых оксидов, силикатов, наличия железистого ядра. Для них характерны повышенные концентрации кислорода, азота, углерода, а также недостаток водорода и гелия.

Внешние планеты обладают значительно меньшей плотностью и отличаются по составу. Некоторые из них, например планеты-гиганты Юпитер и Сатурн, состоят в основном из смеси водорода и гелия, близкой к составу Солнца. Полагают, что эти различия связаны с соответствующей химической дифференциацией протопланетного газопылевого облака, точный механизм которой до сих пор не установлен. Все девять известных к настоящему времени планет Солнечной системы движутся вокруг Солнца по орбитам, близким к круговым, причем почти в одной плоскости – плоскости эклиптики. Кроме того, они вращаются вокруг собственных осей.

Некоторые характеристики планет Солнечной системы представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Некоторые характеристики планет Солнечной системы

Планеты	Среднее расстояние от Солнца		Период обращения	Период вращения на экваторе	Экваториальный диаметр, км	Масса в массах Земли	Средняя плотность вещества, мг/м ³	Число спутников	Диаметр (по отн. к Земле)
	млн км	а. е.							
Меркурий	57,9	0,39	87,97 сут	58,6 сут	4 878	0,055	5,7	–	0,38
Венера	108,2	0,72	227,70 сут	243 сут*	12 104	0,805	4,95	–	0,95
Земля	149,6	1,00	365,26 сут	23 ч 56 мин	12 756	1,00	5,5	1	1,0
Марс	227,9	1,52	686,98 сут	24 ч 37 мин	6 974	0,106	3,94	2	0,53
Юпитер	778,3	5,20	11,86 сут	9 ч 50 мин	142 600	314,03	1,33	12	11,1
Сатурн	1 427	9,54	29,46 лет	10 ч 14 мин	120 200	94,01	0,70	16	9,4
Уран	2 870	19,18	84,01 лет	~20 ч*	53 000	14,4	1,49	5	4,0
Нептун	4 496	30,06	164,81 лет	~20 ч	49 500	17,0	2,09	2	3,9
Плутон	5 946	39,75	247,7 лет	6,39 сут	4 000	0,002	0,4	1	0,47

*Примечание: – направление вращения обратно направлению обращения вокруг Солнца.

5.3. Основные характеристики Земли и модели ее строения

Земля – третья по мере удаления от Солнца планета Солнечной системы (среднее расстояние от Солнца 149,6 млн км). Ее масса равна $59,8 \times 10^{20}$ т, средний радиус составляет 6371 км. Ось вращения Земли образует с перпендикуля-

ром к плоскости эклиптики угол, равный $23,5^\circ$, что обуславливает смену времен года. Мысль о том, что Земля имеет форму шара, была высказана еще *Пифагором* в 530 г. до н. э. Первые попытки определения размера Земного шара также делались достаточно давно и связаны с именем древнегреческого ученого *Эратосфена* (200 г. до н. э.). Но только в конце XVII в. вопрос о форме и размерах Земли стал рассматриваться не только с геометрической, но и с физической точки зрения. *И. Ньютон* в «Математических началах натуральной философии» изложил теорию формы Земли на основе закона всемирного тяготения.

Однако форма планеты и ускорение силы тяжести зависят не только от силы взаимного притяжения с каким-либо телом, но и от других сил, в частности центростремительной, обусловленной вращением Земли. Эта сила направлена по перпендикуляру к оси вращения, и в ее роли выступает часть силы тяготения. Результирующая этих двух сил в случае шарообразной планеты образует угол, отличный от 90° , с касательной к поверхности шара в точке нахождения тела. В результате на любое тело, находящееся на поверхности вращающегося шара, должна действовать сила, стремящаяся сдвинуть его к экватору. Человек этого не замечает, так как под действием центробежной силы форма Земли изменилась таким образом, что в каждой точке ее поверхность перпендикулярна результирующей силе, то есть Земля имеет форму *эллипсоида вращения*, полярный радиус которого R_n меньше экваториального $R_э$. Сила тяжести на реальной Земле равна разности нормальных составляющих силы тяготения и центростремительной силы и зависит от географической широты местности. При достаточно строгом подходе поверхность Земли описывается индивидуальной фигурой, которая называется *геоидом*. Расхождение между поверхностями геоида и эллипсоида не превосходит нескольких десятков метров, в то время как экваториальный и полярный радиусы различаются более чем на 20 км. По данным современных измерений, $R_э = 6378,1$ км, $R_n = 6356,7$ км. Сжатие геоида равно $(R_э - R_n) / R_э = 0,34\%$. Средний радиус определяется как радиус шара, имеющего тот же объем, что и объем эллипсоида вращения.

Обнаруженное отклонение формы планеты от шарообразной означает,

что вещество, из которого она состоит, обладает пластичностью, то есть имеет свойства, характерные для вязкой жидкости. Космические исследования позволили уточнить характер сжатия. Оказалось, что оно не совсем соответствует фигуре равновесия вращающейся жидкой планеты, имеется отклонение от равновесного состояния и в глубинах Земли существуют напряжения, из чего можно сделать вывод, что материал земных недр обладает прочностью и в этом смысле отличен от жидкости.

Информацию о механических свойствах материала земного шара получают также из наблюдений за приливной деформацией, которую испытывает Земля под воздействием Луны. Характер приливных движений зависит от свойств вещества. Их изучение приводит к выводу, что вещество Земли в целом довольно близко по свойствам к идеально упругому телу, хотя приливы несколько запаздывают по отношению к приливообразующей силе. Это свидетельствует о том, что недра Земли обладают вязкостью. Накопившиеся к настоящему времени данные позволяют считать, что вещество Земли обладает и вязкостью, и твердостью. Такие материалы принято называть вязкоупругими. В различных условиях они могут проявлять свойства твердого тела или жидкости. Например, геологические наблюдения показывают, что при длительных (больше 10 000 лет) горообразовательных процессах горные породы как бы «текут» аналогично жидкостям со средней вязкостью 10^{20} – 10^{22} пуаз, тогда как при воздействии не слишком долго действующих сил (секунды – дни) они ведут себя как обычные твердые упругие тела.

В настоящее время установлено, что основные процессы, преобразующие Землю, возникают на больших глубинах, имеющих достаточно сложное строение. Их изучение возможно только физическими методами. Однако при этом не всегда удается полностью адекватно описать такой сложный природный объект, как наша планета. Поэтому существует несколько *моделей строения Земли*, представляющих ее некоторые упрощенные схемы: сейсмическая, механические, термическая.

Сейсмическая модель. Наиболее полные сведения о внутреннем строе-

нии нашей планеты дают наблюдения за распространением в теле Земли упругих сейсмических волн, возникающих вследствие землетрясений или искусственных взрывов. Основы сейсмологии заложены еще в начале XX в. русским геофизиком князем *Б.Б. Голицыным* (1862–1916). Различают два вида объемных сейсмических волн: продольные – упругие волны сжатия, представляющие собой колебания вещества вдоль направления распространения волны (вдоль луча), и поперечные – упругие волны сдвига, отражающие колебания вещества поперек этого направления. И те и другие волны распространяются в веществе Земли подобно световым лучам в оптических средах, отражаясь и преломляясь на поверхностях раздела, где их скорость изменяется в зависимости от механических свойств среды. Объемные сейсмические волны в буквальном смысле слова просвечивают нашу планету и позволяют выявить внутреннее строение Земли без непосредственного проникновения в ее недра.

Из теории упругости следует, что скорости распространения продольных (v_p) и поперечных (v_s) сейсмических волн определяются следующими выражениями:

$$v_p = \sqrt{\frac{K + 4/3\mu}{\rho}}; \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}},$$

где K – модуль всестороннего сжатия; μ – модуль сдвига; ρ – плотность вещества.

Как видно из соотношения, продольные волны распространяются быстрее, поэтому их называют первичными, а поперечные волны – вторичными.

Очаги большинства землетрясений располагаются не глубже 100 км от поверхности Земли, но в случае наиболее крупных из них они могут находиться и дальше (до 700 км). При теоретическом рассмотрении источник сейсмических волн представляется точкой, называемой *фокусом* или *гипоцентром*, а проекция его по радиусу на поверхность Земли – *эпицентром*. Центральный угол между этим радиусом и направлением в сторону сейсмической станции, зарегистрировавшей приход волны, называют *эпицентральной расстоянием* (Δ), а зависимость времени пробега волны (T) от эпицентрального расстояния – *годографом*.

Информацию о внутреннем строении Земли дает анализ распределения скоростей сейсмических волн по глубине (*скоростной разрез Земли*), поэтому задача сейсмологии сегодня состоит в том, чтобы установить зависимость скорости распространения сейсмических волн от глубины.

С начала XX в. стала создаваться сеть сейсмических станций, которые регистрировали волны, приходящие из разных районов Земли. Оказалось, что продольные (P) и поперечные (S) сейсмические волны наблюдаются только до $\Delta = 103^\circ$. Между 103 и 142° волны исчезают и создается «зона тени». При больших эпицентральных расстояниях ($\Delta = 142\text{--}180^\circ$) появляется более поздняя продольная волна, а волна S отсутствует. Для объяснения этих данных было сделано предположение о том, что приблизительно на половине расстояния до центра Земли существует граница раздела, ниже которой продольные волны резко замедляются, а поперечные – исчезают. Из приведенного выражения для расчета скорости поперечной сейсмической волны следует, что эти колебания затухают в жидкой среде, так как она не сопротивляется изменению своей формы, и модуль сдвига равен нулю. Полученные результаты указывают на существование в центре планеты *жидкого ядра* с высокой плотностью. Выше ядра располагается оболочка, или *мантия* Земли, вещество которой находится в твердом состоянии. Глубину границы раздела между мантией и ядром (2900 км) впервые определил немецкий сейсмолог *Б. Гутенберг* в 1914 г. На границе Гутенберга скорость продольной волны v_p скачком уменьшается от 13,6 до 8,1 км/с, а скорость поперечных волн падает с 7,3 км/с до нуля.

Другая отчетливая поверхность раздела обнаружена югославским сейсмологом *А. Мохоровичичем*. На этой границе v_p и v_s скачкообразно возрастают. Слой, расположенный выше границы Мохоровичича, стали называть *земной корой*. Толщина коры различна в разных частях поверхности Земли. Она изменяется от нескольких километров под дном океанов до нескольких десятков километров под континентами. В результате граница Мохоровичича является почти зеркальным отражением рельефа земной поверхности.

Земная кора различается не только толщиной, но также строением и воз-

растом. Верхняя часть коры континентального типа складывается из гранитов и родственных им пород и называется гранитным слоем. Глубже располагается слой с более высокой плотностью и упругостью. Сейсмические волны распространяются в нем быстрее. Его условно называют базальтовым, а границу между этими двумя слоями – границей Конрада. Океанический тип коры имеет гораздо меньшую толщину и состоит только из базальтового слоя. Географические области континентов и океанов не всегда совпадают с областями распространения земной коры соответствующего типа, так как вследствие тектонических движений некоторые части земной поверхности, находящиеся сейчас под водой, раньше были сушей, и наоборот.

Ниже земной коры начинается *мантия Земли*. По характеру кривых скоростей сейсмических волн мантия может быть разделена на три части: *верхняя* – до 400 км (v_p и v_s слабо растут или даже убывают), *переходный слой* – 400–900 км (быстрое увеличение v_p и v_s) и *нижняя* – 900–2900 км (плавное постепенное увеличение скоростей сейсмических волн). Мантия играет очень важную роль в жизни и развитии Земли. Согласно современным представлениям земная кора, непосредственно взаимодействующая с живыми организмами и будучи составным элементом биосферы, представляет собой продукт выделения вещества из мантии Земли в результате выноса вверх наиболее легких и легкоплавких компонентов. В мантии же располагаются очаги крупных землетрясений.

Верхние слои мантии, так же как и кора, состоят из силикатов и алюмосиликатов, различающихся по составу и форме кристаллической решетки в зависимости от условий (в основном по давлению и температуре). Нижняя мантия, по-видимому, кроме высокоплотных модификаций силикатов и алюмосиликатов содержит еще и смеси окислов железа, магния, кремния и других элементов. Вопрос о составе внутренних слоев Земли решается на основе сопоставления физических параметров слоя с аналогичными характеристиками различных горных пород, которые получены в опытах с высокими давлениями и температурами, моделирующими условия на разных глубинах. Определенную информацию дает также анализ горных пород, выбрасываемых с соответству-

ющих глубин при извержениях вулканов, а также исследование состава метеоритов, хотя к метеоритной аналогии следует относиться с определенной осторожностью. Большинство метеоритов происходят от тел, движущихся в так называемом астероидном поясе, располагающемся между внутренними и внешними планетами. Их состав может отличаться от состава Земли вследствие химической дифференциации вещества в протопланетном облаке на разных расстояниях до Солнца.

Часть земного шара, расположенная глубже 2900 км, называется *ядром*, которое, в свою очередь, подразделяется на три слоя: *внешнее* – до глубины 5100 км (постепенное увеличение v_p), *переходную зону* – толщиной 100–200 км (скачок v_p) и *внутреннее ядро* (v_p растет медленно), которое занимает самую центральную часть планеты. Важные свойства вещества ядра – большая плотность и высокая металлическая электропроводность. Полагают, что ядро состоит в основном из железа, находящегося во внешнем ядре в расплавленном состоянии. Во внутреннем ядре, как следует из данных сейсмических исследований, вещество вновь становится твердым. Эти представления о составе ядра согласуются с фактом существования железных метеоритов. Экспериментальное определение плотности железа при давлениях, моделирующих условия в ядре, позволило предположить наличие примеси какого-то более легкого компонента (например, кремния). Согласно другой гипотезе, ядро состоит примерно из тех же веществ, что и нижняя мантия, но в условиях высоких давлений силикаты приобретают металлические свойства: резко возрастают плотность и электропроводность. Однако в последнее время эта гипотеза стала подвергаться сомнению, так как при сжатии силикатов давлением в несколько миллионов атмосфер не удалось обнаружить скачка плотности, хотя и происходит фазовый переход с увеличением электропроводности на 5–6 порядков.

Механические модели Земли. Реальные представления о распределении плотности и давления внутри нашей планеты стали складываться только после появления сейсмических данных, показавших наличие нескольких оболочек с разными свойствами. Определение *Г. Кавендишем* значения гравитационной

постоянной, входящей в уравнение закона всемирного тяготения, позволило найти массу Земли (1798 г.), а при известном объеме – и среднюю плотность. Она оказалась значительно больше плотности горных пород (гранит – $2,8 \text{ г/см}^3$, базальт – 3 г/см^3), и, следовательно, с глубиной плотность Земли должна увеличиваться. Построение *плотностных моделей* Земли опирается на знание значений скоростей распространения сейсмических волн на разных глубинах, поскольку плотность входит в выражения для v_p и v_s . Однако одних этих данных недостаточно, и ученые выдвигают некоторые дополнительные предположения.

Наиболее существенный вклад в построение реальной модели распространения плотности внутри Земли внесли американские геофизики *Л. Адамс* и *Е. Вильямсон*. В настоящее время принято считать, что с увеличением глубины плотность в мантии постепенно растет, причем наиболее быстро – в переходном слое. На границе с ядром плотность скачком увеличивается почти в два раза (с $5,5$ до $\sim 10 \text{ г/см}^3$). В ядре плотность опять монотонно возрастает, но имеется небольшой скачок между внешним и внутренним ядром, свидетельствующий об изменении на глубине $5100\text{--}5200 \text{ км}$ фазового состояния или состава вещества ядра. В центре ядра плотность оценивается величиной $12,5\text{--}13,5 \text{ г/см}^3$. Зная размеры различных оболочек Земли и плотность их вещества, можно определить *давление* внутри Земли. Оно постепенно повышается и на границе с ядром достигает $1,5$ млн, а в центре Земли – $3\text{--}4$ млн атмосфер.

Термическая модель и радиоактивность Земли. Одной из наиболее сложных проблем внутреннего строения Земли является выяснение изменения *температуры* в зависимости от глубины. До сих пор наука не располагает методами непосредственного ее измерения. Тепловой режим поверхности Земли определяется двумя потоками тепла, идущими от Солнца и из недр Земли. Первый из них в несколько тысяч раз превышает второй, однако вследствие низкой теплопроводности земного вещества лишь малая часть солнечной энергии проникает внутрь Земли, причем на глубину, не превышающую нескольких десятков метров. Мощность теплового потока, излучаемого Землей, оценивают величиной $\sim 10^{21} \text{ Дж/год}$. Возникает вопрос об источнике этой энергии.

Еще в середине XX в. полагали, что тепловая энергия Земли – это остаток тепла, которое Земля захватила от Солнца на стадии ее формирования. Но позднее всеобщее признание получила гипотеза о возникновении Земли из газопылевого облака относительно невысокой температуры, предполагающая, что впоследствии произошел ее саморазогрев за счет протекания каких-то внутренних процессов. К их числу относят неупругие соударения твердых частиц в период формирования планеты, когда часть кинетической энергии переходила в тепловую, а также ее сжатие под тяжестью вновь образующегося вещества. Разогрев мог происходить и в последующие эпохи, например, вследствие продолжающегося до сих пор процесса дифференциации ее вещества по удельному весу, в результате чего из первоначально однородной Земли возникла планета с современным распределением плотности, при котором тяжелые вещества опустились к центру, а легкие поднялись вверх. Однако наибольший вклад в тепловой баланс вносит энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивных элементов, входящих в состав вещества Земли. Первым обратил на это внимание *Дж. Стретт* (лорд Рэлей), показавший в 1906 г., что радиоактивный распад служит мощным источником тепла в недрах планеты.

Измерения показывают, что в верхних слоях Земли температура увеличивается с глубиной на 15–20° на каждый километр. Оценка температуры при более значительном удалении от поверхности Земли достаточно сложна, и вопрос о температуре земных глубин относится к числу наименее изученных в геофизике. При его решении пытаются определить возможные пределы для температуры на разных глубинах. При этом учитывается факт прохождения поперечных сейсмических волн через всю толщу коры и мантии, обусловленный тем, что температура этих слоев меньше температуры плавления вещества, хотя существование вулканов, извергающих расплав горных пород, указывает на наличие таких расплавов как в коре, так и в верхних слоях мантии. Эти расплавы могут существовать в виде отдельных очагов (камер с расплавом). Полагают, что на глубине около 100 км температура мантии равна примерно 1200 °С. Затем она растет с глубиной, принимая промежуточные значения между темпе-

ратурой плавления вещества мантии при соответствующих данной глубине давлениях (верхний предел) и температурой, обусловленной его адиабатическим сжатием под тяжестью вышележащих слоев (нижний предел). Температура во внешнем ядре должна быть выше, а во внутреннем – ниже температуры плавления железа, если считать, что ядро состоит в основном из железа, находящегося в жидком состоянии во внешнем ядре и в твердом – во внутреннем. В результате температура в ядре изменяется незначительно, что согласуется с представлениями о его металлической природе и, следовательно, высокой теплопроводности. В центре Земли температура достигает примерно 5000 °С.

Радиоактивные элементы входят в состав горных пород, а также внутренних оболочек Земли. Концентрация таких элементов относительно мала, причем она разная в различных геосферах. О радиоактивности глубоких слоев судят по данным изучения продуктов вулканизма, основанным на гипотетических расчетах температурного режима внутри Земли, а также по результатам исследования состава метеоритов разных типов (каменных, железокатенных, железных). Содержание радиоактивных элементов в земной коре больше, чем в мантии и ядре. Тяжелые радиоактивные изотопы имеют большие объемы и вследствие этого выталкиваются из плотноупакованных кристаллических решеток силикатов. В процессе дифференциации вещества Земли они вместе с легкой фракцией всплывали вверх, а плотное тугоплавкое (железистое) вещество, обедненное радиоактивными элементами, опускалось вниз. Распределение радиоактивных элементов по геосферам Земли изменялось на разных этапах ее истории. В настоящее время процесс гравитационной дифференциации вещества в недрах продолжается и концентрация радиоактивных элементов в земной коре увеличивается, а в мантии падает. Это изменяет радиационный фон Земли, что влияет на жизнь населяющих ее организмов.

На Земле постоянно происходит смена видов организмов. К числу факторов, влияющих на этот процесс, относят и изменение радиационного фона, приводящего к мутагенезу, то есть возникновению в организмах наследственных изменений в результате нарушений и перестроек в хромосомах и генах. За по-

следние 600 млн лет (с начала заселения материков) можно выделить 20 мутагенных эпох, повторяющихся с периодичностью примерно 30 млн лет. Их возникновение связывают с интенсивным рифтогенезом – поступлением из недр Земли магматических расплавов, обогащенных токсическими (никель, ванадий, медь и др.) и радиоактивными элементами. Под воздействием этих веществ происходили скачки в развитии органического мира – исчезали одни виды и появлялись другие. Нарушение равномерного хода эволюционного процесса происходило под влиянием различных земных и космических факторов. В частности, предполагают, что активный рифтогенез, в результате которого образовывались магматические расплавы, обогащенные радиоактивными элементами, вызывался падением на Землю астероидных тел. Увеличение частоты падения метеоритов (судя по периодичности кратерообразования на Луне) совпадало по времени с мутагенными эпохами на Земле и также происходило с периодом примерно в 30 млн лет. К тому же, падение крупных метеоритов могло вызывать глобальные климатические изменения, аналогичные тем, что ожидаются в случае массового использования атомного оружия («ядерная зима»).

Вхождение радиоактивных изотопов в кристаллическую решетку многих минералов и горных пород (уран входит в состав около двухсот минералов) позволило решить вопрос об их возрасте, а соответственно, и о *возрасте Земли*.

С целью установления возраста горных пород или минералов изучают распад различных элементов, и прежде всего изотопов урана ${}_{92}\text{U}^{238}$ и ${}_{92}\text{U}^{235}$, концентрация которых снижается вдвое (период полураспада) за $4,5 \cdot 10^9$ и $7,1 \cdot 10^8$ лет соответственно. Однако продукты их распада сами оказались радиоактивными и с различной скоростью участвуют в последующих реакциях распада вплоть до образования устойчивых изотопов свинца ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ (из ${}_{92}\text{U}^{238}$) и ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ (из ${}_{92}\text{U}^{235}$). Например, в случае распада U^{238} образованию изотопа свинца предшествует восемь реакций α - и шесть реакций β -распада. Но наиболее медленным, лимитирующим скорость реакции в целом, является превращение урана в реакции α -распада.

Методы *радиохронологии* могут быть применены, если исследуемый объ-

ект является замкнутой системой, то есть за длительную геологическую историю из него не мигрировали начальные радиоактивные изотопы и конечные продукты распада. Кроме того, среди дочерних изотопов не должно быть атомов нерадиогенного происхождения. При наличии таких примесей приходится разрабатывать специальные методы их оценок и вводить поправки. Начальная концентрация радиоактивного изотопа, как правило, не известна. Поэтому определение возраста обычно основано на подсчете количества сохранившихся исходных (материнских) радиоактивных изотопов N и образовавшихся (дочерних) продуктов их распада D , которые при выполнении указанных условий связаны между собой определенным соотношением. Из уравнения радиоактивного распада следует, что возраст Земли больше, чем возраст самых древних пород.

Определение возраста Земли возможно и по данным, полученным при изучении метеоритов. Предполагается, что они образовались из того же газопылевого облака, что и Земля, и в то же время. Первичная дифференциация вещества на Земле и вещества метеоритов была одинаковой, так как формирование всей планетной системы происходило одновременно и по общим законам. Проведенные измерения в железных метеоритах позволили определить изотопный состав первичного свинца. Распад урана, содержащегося в каменных метеоритах, приводит к появлению радиогенного свинца. По отношению радиогенного свинца к первичному делают выводы о возрасте Земли.

Магнитное поле Земли. Предположение о существовании у Земли металлизированного ядра объясняет происхождение магнитного поля Земли. Современные теории геомагнитного поля основываются на гипотезе «динамоэффекта», выдвинутой *Френкелем* в 1947 г. В жидком металлическом ядре под влиянием тепла, выделяющегося при распаде содержащихся в нем радиоактивных элементов (например, K^{40}) или вследствие каких-то других процессов, например гравитационной дифференциации, ведущей к опусканию железа и всплыванию кремния, возникают конвекционные течения вещества. Эти течения представляют собой проводники, движущиеся в слабых магнитных полях. В проводниках возникают индукционные токи, которые создают свои поля, уси-

ливающие процесс, то есть возникает механизм, подобный динамомашине, работающей на самовозбуждении. Различные конвективные ячейки создают магнитные поля, имеющие разные знаки. Суммируясь, они в результате дают не очень сильное поле Земли. Магнитные поля широко распространены во Вселенной. Они обнаружены у Солнца, звезд, облаков плазмы, перемещающихся в космическом пространстве, большинства планет Солнечной системы.

Геомагнитное поле в первом приближении можно рассматривать как поле постоянного магнита, помещенного почти в центре Земли (магнитный центр Земли смещен от центра массы на 436 км в сторону Тихого океана), ось которого составляет угол $11,5^\circ$ с осью вращения Земли. Это обуславливает несовпадение географического и магнитного полюсов (магнитное склонение, открытое Колумбом в 1492 г.). Кроме главного поля, источники которого расположены в ядре Земли, существует еще аномальное магнитное поле, создаваемое намагниченными горными породами, расположенными в земной коре, и внешнее поле, источники которого расположены в околоземном пространстве.

Магнитное поле Земли играет очень важную роль в жизни нашей планеты, защищая ее поверхность от потоков заряженных частиц с высокой энергией, идущих от Солнца («солнечный ветер») и из космоса. Оно является также уникальным ориентиром морской, воздушной и спутниковой навигации. Всю область действия магнитного поля Земли, то есть область околоземного пространства, заполненную заряженными частицами, движущимися в магнитном поле Земли, называют *магнитосферой*. Под действием солнечного ветра магнитосфера принимает каплевидную форму: со стороны, обращенной к Солнцу, она сжата и простирается до расстояния в 60–90 тыс. км от Земли, а на противоположной стороне – сильно вытянута, образуя магнитный хвост длиной в несколько миллионов километров. При увеличении активности Солнца и усилении солнечного ветра магнитосфера уплотняется, магнитное поле Земли претерпевает кратковременные возмущения – «*магнитные бури*». Заряженные частицы, проникая в магнитосферу, концентрируются в отдельных ее областях, называемых *радиационными поясами*. Существует внешний электронный пояс,

удаленный от планеты на 20–40 тыс. км, и внутренний протонный. Протоны, обладающие большей энергией, находятся ближе к Земле (3–5 тыс. км).

Проведенные исследования показали, что геомагнитное поле изменяется во времени и пространстве. Так, в Северном полушарии магнитный полюс за сутки перемещается на 20,5 м, или на 7,5 км в год. В настоящее время он располагается на севере Канады, а в 2185 г. должен совместиться с Северным географическим полюсом и склонение будет равно нулю. Изменение положения полюсов объясняют, с одной стороны, изменением самого поля, а с другой – дрейфом континентов, а также перемещением земной коры и верхних слоев мантии относительно внутренних частей Земли. Такое перемещение оказывается возможным благодаря наличию в верхней мантии на глубинах от 50–80 до 250–400 км слоя малых скоростей сейсмических волн – *астеносферы*, где вещество находится в аморфном состоянии при температуре, близкой к температуре плавления, обладает пластичностью и пониженной вязкостью. Над астеносферой находится *литосфера*, представляющая собой твердую внешнюю оболочку Земли, включающую в себя земную кору и верхнюю часть мантии.

Об изменениях геомагнитного поля можно судить на основании исследований магнитных свойств горных пород, обладающих «магнитной памятью» о древнем геомагнитном поле, в котором они образовались. Свойство горных пород, содержащих ферромагнитные материалы, намагничиваться в период своего формирования под действием магнитного поля Земли и сохранять приобретенную намагниченность при остывании до температуры ниже точки Кюри (для железа $\approx 750\text{ }^{\circ}\text{C}$) называется *палеомагнетизмом*.

Исследования показали, что не только местоположение магнитных полюсов изменялось, но и знак магнитного поля в прошлом неоднократно менялся на обратный. На это указывает противоположная намагниченность горных пород разного возраста. В период *инверсии* поля исчезает магнитный экран, защищающий Землю от потока заряженных частиц. Космическое излучение, доходя до поверхности Земли, воздействует на живые организмы и приводит к их мутации, что обуславливает скачкообразный характер развития органического

мира на планете. Изменение полярности геомагнитного поля происходило через интервалы времени от нескольких тысячелетий до миллионов лет. За последние 600 млн лет насчитывается более тысячи инверсий. Полагают, что они сыграли важную роль в формировании человека, когда благодаря инверсии магнитного поля 2,8 млн лет назад на смену австралопитеку пришел человек умелый. Затем, благодаря новым инверсиям, его сменил человек выпрямленный, потом питекантроп (около 500 тыс. лет назад), неандерталец (200–60 тыс. лет) и, наконец, кроманьонец (~60 тыс. лет) – наш прямой предок.

5.4. Геологическая эволюция Земли

За миллиарды лет своего существования Земля и ее биосфера прошли сложный путь развития, прежде чем приобрели современные свойства, строение и состав. В истории Земли выделяют два этапа: догеологический и геологический.

Догеологический этап начинается со времени зарождения протопланет и заканчивается появлением земной коры, образованием водной и воздушной оболочек Земли. Геологические данные ничего не дают для первых многих миллионов лет существования Земли. В те времена в недрах Земли выделялось намного больше тепла, чем теперь, земная кора еще не выделилась и радиоактивные элементы в среднем располагались глубже. Магматическая активность была высокой, и образовавшиеся горные породы вновь расплавлялись. Догеологический этап, который продолжался около 200 млн лет примерно в период с $4,7 \times 10^9$ до $4,5 \times 10^9$ лет назад, называется *катархейским* (табл. 5.2).

Геологическая история началась около 4,5 млрд лет назад, что соответствует возрасту наиболее древних пород, найденных на Земле. Долгое время считалось, что они имеют возраст около 3,8 млрд лет (Охотский массив, Западная Гренландия, Антарктида). Однако в 1983 г. в Австралии была обнаружена еще более древняя горная порода (4 млрд лет), а затем – горная порода возрастом 4,2 млрд лет.

Геологическая история Земли делится на два неравных этапа. Наиболее

древний из них, охватывающий около 85% времени существования нашей планеты, называется *докембрием*. Такое название он получил, так как предшествует первому (кембрийскому) периоду последующего мегаэтапа, который называется *фанерозоем* (явная жизнь) и охватывает последние 570 млн лет. Докембрий подразделяется на две эры: архейскую (первоначальная, древняя эра) и протерозойскую (более ранняя жизнь). Фанерозой делится на три эры: палеозойскую (древняя жизнь), мезозойскую (средняя жизнь) и кайнозойскую (новая жизнь), каждая из которых подразделяется на несколько периодов (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Основные этапы эволюции Земли

Эон	Эра	Период	Начало (млн лет назад)
Катархей			4700
Докембрий	Архейская		4500
	Протерозойская	Нижний Верхний (рифей)	2600 1650
Фанерозой	Палеозойская	Кембрийский	570
		Ордовикский	500
		Силурийский	440
		Девонский	410
		Каменноугольный	355
		Пермский	285
	Мезозойская	Триасовый	230
		Юрский	195
		Меловой	140
	Кайнозойская	Палеогеновый	65
		Неогеновый	25
		Четвертичный (Антропо- геновый)	1,5

На первом, катархейском, этапе Земля была сравнительно холодной и тектонически пассивной планетой. В эту эпоху она лишь постепенно прогревалась за счет распада радиоактивных элементов и рассеивания приливной энергии. Значительную роль в это время играла Луна. Согласно некоторым представлениям она образовалась при разрушении более массивной планеты – Протолуны, захваченной с близкой орбиты еще в процессе роста Земли. При этом на Землю выпала большая часть вещества этой планеты. Дегазация Земли в катархее почти не происходила, поэтому земная атмосфера была крайне разре-

женной и состояла в основном из инертных газов, так как все химически активные газы сорбировались ее пористым грунтом и постепенно захоранивались в земных недрах. Гидросфера в этот период вовсе отсутствовала. Выделение водяных паров и других атмосферных газов началось лишь через 600 млн лет после образования Земли. В архее она уже оказалась окутанной плотной атмосферой, состоящей из эндогенных газов (оксидов углерода, аммиака, метана, водорода, водяного пара), вызывавших довольно сильный парниковый эффект. В эту же эпоху появились первые мелководные изолированные морские бассейны, но уже к концу архея сформировался единый, но еще неглубокий Мировой океан. Это способствовало связыванию углекислого газа в карбонатах. В результате уже в самом начале раннего (нижнего) протерозоя (около 2,5–2,4 млрд лет назад) содержание CO_2 значительно снизилось и средняя приземная температура резко уменьшилась.

На протяжении последних нескольких миллионов лет химический состав атмосферы практически не изменился. Это можно объяснить тем, что он регулируется биологическими процессами, происходящими в направлении оптимизации условий развития биосферы. Как писал Вернадский, «жизнь создает в окружающей ее среде условия, благоприятные для своего существования». Однако, как утверждают некоторые исследователи, так продолжаться слишком долго не может, и приблизительно через 600 млн лет произойдет губительное для всего живого выделение из мантии эндогенного кислорода, освобождающегося за счет распада окислов железа в нижней мантии.

Тем не менее уникальность нашей планеты и ее развитие были предопределены местом Земли в Солнечной системе, ее массой и спецификой химического состава. Земля, Солнце и Луна образуют оптимальную, тонко сбалансированную систему, обеспечивающую все условия для возникновения и развития жизни.

5.5. Космологические характеристики Луны

Луна – единственный естественный спутник Земли и ближайшее к ней

небесное тело.

Происхождение. Наиболее известны три гипотезы происхождения Луны. В конце XIX в. *Дж. Дарвин* выдвинул гипотезу, согласно которой Луна и Земля первоначально составляли одну общую расплавленную массу, скорость которой увеличивалась по мере ее остывания и сжатия; в результате эта масса разорвалась на две части: большую – Землю и малую – Луну. Такая гипотеза объясняет малую плотность Луны (образованной из внешних слоев первоначальной массы), но встречает серьезные возражения как с точки зрения механизма самого процесса, так и вследствие существенных геохимических различий между породами земной оболочки и лунными породами. Согласно теории «захвата», предложенной *К. Вейцеккером*, *Х. Альфвен*ом и *Г. Юри*, Луна первоначально была малой планетой, которая при прохождении вблизи Земли в результате воздействия тяготения последней превратилась в спутник Земли. Специальные расчеты показывают, что вероятность такого события весьма мала. По третьей теории, разработанной *О.Ю. Шмидтом* в середине XX в., Луна и Земля образовались одновременно путем объединения и уплотнения большого числа мелких частиц. Но так как Луна имеет в среднем меньшую плотность, чем Земля, то вещество протопланетного облака должно былоделиться с образованием значительно большей концентрации тяжелых элементов в Земле. Отсюда следует, что первой начала формироваться Земля, окруженная мощной атмосферой, и при последующем охлаждении вещество этой атмосферы сконденсировалось в кольцо планетезималей, из которых и образовалась Луна. Эта теория является наиболее научно разработанной.

Физические характеристики. Форма Луны очень близка к шару с радиусом 1737 км, что равно 0,2724 экваториального радиуса Земли. Площадь поверхности Луны составляет $3,8 \cdot 10^7$ км², объем – $2,2 \cdot 10^{25}$ см³. Более детальное определение геометрической формы Луны затруднено тем, что на ней из-за отсутствия океанов нет явно выраженной уровенной поверхности, по отношению к которой можно было бы определить высоты и глубины. Кроме того, поскольку Луна повернута к Земле одной стороной, то измерять с Земли радиусы точек

поверхности видимого полушария Луны (кроме точек на самом краю лунного диска) представляется возможным лишь на основании слабого стереоскопического эффекта, обусловленного *либрацией*. Изучение либрации позволило оценить разность главных полуосей эллипсоида Луны. Под влиянием приливных сил Луна немного вытянута в сторону Земли. Полярная ось меньше экваториальной, направленной в сторону Земли, примерно на 700 м и меньше экваториальной оси, перпендикулярной направлению на Землю, на 400 м. Масса Луны точнее всего определяется из наблюдений за ней с искусственных спутников; она в 81 раз меньше массы Земли, что соответствует $7,35 \cdot 10^{22}$ кг. Средняя плотность Луны равна $3,34 \text{ г/см}^3$. Ускорение силы тяжести на поверхности Луны в 6 раз больше, чем на Земле, составляет $162,3 \text{ см/с}^2$ и уменьшается на $0,187 \text{ см/с}^2$ при подъеме на 1 км.

Характер движения. Луна движется вокруг Земли со средней скоростью $1,02 \text{ км/с}$ по орбите, близкой к эллиптической, в том же направлении, в котором движется подавляющее большинство других тел Солнечной системы, то есть против часовой стрелки, если смотреть на орбиту Луны со стороны Северного полюса мира. Вследствие эллиптической орбиты и возмущений расстояние до Луны колеблется между $356\,400$ и $406\,800 \text{ км}$. Период обращения Луны вокруг Земли, так называемый сидерический (звездный) месяц, равен $27,32166$ суток, но также подвержен небольшим колебаниям. Изучение движения Луны составляет одну из труднейших задач небесной механики. Эллиптическое движение представляет собой лишь приближение, так как на него накладываются процессы, обусловленные притяжением Солнца, планет и сплюснутостью Земли. Притяжение Луны Солнцем в 2,2 раза сильнее, чем Землей, так что, строго говоря, следовало бы рассматривать движение Луны вокруг Солнца и влияние на него Земли. Однако человека обычно интересует движение Луны, каким оно видно с Земли, и поэтому основная гравитационная теория (которую предложил Дж. Хилл), описывает движение Луны именно вокруг Земли.

Плоскость орбиты Луны наклонена к эклиптике под углом $5^\circ 8' 43''$, подверженным небольшим колебаниям. *Эклиптика* – это большой круг небесной

сферы, по которому происходит видимое годичное перемещение центра Солнца. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора под углом $23^{\circ}27'$ и пересекается с небесным экватором в точках весеннего и осеннего равноденствия. *Небесный экватор* – большой круг небесной сферы, представляющий собой линию пересечения ее плоскостью, перпендикулярной так называемой оси Мира, вокруг которой происходит видимое вращение небесной сферы. Точки пересечения орбиты Луны с эклиптической называются восходящим и нисходящим узлами, имеют неравномерное движение и совершают полный оборот по эклиптике за 6794 суток (около 18 лет). Вследствие этого Луна возвращается к одному и тому же узлу через интервал времени, несколько более короткий, чем сидерический месяц, в среднем равный 27,21222 суток. Именно с этим периодом связана периодичность солнечных и лунных затмений. Кроме того, так как Луна вращается вокруг оси, наклоненной к плоскости эклиптики под углом $88^{\circ}28'$, причем с периодом, точно равным сидерическому месяцу, то именно поэтому она повернута к Земле всегда одной и той же стороной. Вместе с тем сочетание равномерного вращения с неравномерным движением по орбите приводит к небольшим периодическим отклонениям от неизменного направления к Земле. Именно поэтому в разное время с Земли можно видеть лишь до 59% всей поверхности Луны; такие отклонения называются *либрацией* Луны. При этом плоскости экватора Луны, эклиптики и лунной орбиты всегда пересекаются по одной прямой (закон Кассини).

Фазы. Не будучи самосветящейся, Луна видна только в той части, куда падают либо солнечные лучи, либо лучи, отраженные Землей. Этим объясняются фазы Луны. Каждый месяц Луна, двигаясь по орбите, проходит между Землей и Солнцем и обращена к нам темной стороной; в это время происходит новолуние. Через 1–2 дня после этого на западной части неба появляется узкий яркий серп молодой Луны. Остальная часть лунного диска бывает в это время слабо освещена Землей, повернутой к Луне своим дневным полушарием. Через 7 суток Луна отходит от Солнца на 90° , наступает первая четверть, когда освещена ровно половина диска Луны и терминатор (линия раздела светлой и тем-

ной стороны) становится прямой, то есть диаметром лунного диска. В последующие дни терминатор становится выпуклым, вид Луны приближается к светлomu кругу, и через 14–15 суток наступает полнолуние. На 22-е сутки наблюдается последняя четверть. Угловое расстояние Луны от Солнца уменьшается, она опять приобретает форму серпа, и через 29,5 суток вновь наступает новолуние. Промежуток между двумя последовательными новолуниями называется синодическим месяцем, продолжительность которого (29,5 суток) больше сидерического месяца, так как Земля за это время проходит примерно $\frac{1}{13}$ своей орбиты, и Луна, чтобы вновь пройти между Землей и Солнцем, должна тоже дополнительно пройти $\frac{1}{13}$ часть своей орбиты, на что тратится несколько более двух суток. Если новолуние происходит вблизи одного из углов лунной орбиты, то наблюдается солнечное затмение, а полнолуние вблизи узла сопровождается лунным затмением. Следует отметить, что указанная система фаз Луны явилась основой для ряда календарных систем.

Поверхность. Лунная поверхность довольно темная, ее альбедо равно 0,073, то есть она отражает в среднем лишь 7,3% световых лучей Солнца. *Альбедо* – это отношение количества отраженной телом лучистой энергии к количеству энергии, падающей на тело, то есть оно характеризует отражательную способность поверхности тела.

День на Луне длится почти 1,5 суток и столько же продолжается ночь. Не будучи защищенной атмосферой, поверхность Луны нагревается днем до +110 °С, а ночью остывает до –120 °С. Однако вследствие очень слабой теплопроводности поверхностных слоев такие довольно большие колебания температуры проникают вглубь лишь на несколько дециметров. По той же причине нагретая поверхность во время полных лунных затмений быстро охлаждается. Визуально на Луне видны неправильные темноватые протяженные пятна, которые вначале были приняты за моря, но оказались равнинами и горами, имеющими кольцеобразные формы (кратеры). Все эти образования получили специальные названия. Карты обратной стороны Луны составлены по наблюдениям, выполненным с помощью космических зондов и

искусственных спутников Луны.

В конце XIX – начале XX в. был издан большой атлас Луны по фотографиям, полученным в Парижской обсерватории; позднее фотографический альбом Луны издан Ликской обсерваторией в США, а в середине XX в. Дж. Койпер (США) составил несколько детальных атласов фотографий Луны, полученных с помощью современных телескопов различных обсерваторий мира.

Рельеф лунной поверхности был также установлен в результате многолетних телескопических наблюдений. «Лунные моря», занимающие около 40% видимой поверхности Луны, имеют, как правило, простую чашевидную форму диаметром от 15 до 200 км. Высоты гор определены по длине их теней на поверхности или фотометрическим методом. Составленные гипсометрические карты на большую часть видимой стороны Луны (масштаб 1 : 1 000 000) используются также для учета неровностей края Луны с целью определения ее координат. Абсолютный возраст лунных образований (гор и кратеров) точно известен лишь в некоторых точках. Однако, используя некоторые косвенные методы, можно установить, что возраст наиболее молодых крупных кратеров составляет десятки и сотни миллионов лет, а основная масса крупных кратеров возникла 3–4 млрд лет тому назад.

Специальные расчеты, связанные с термической историей Луны, показывают, что вскоре после образования ее недра были разогреты радиоактивным теплом и в значительной мере расплавлены, что сопровождалось интенсивными вулканическими явлениями с образованием кратеров и трещин. Кроме того, на ранних этапах на поверхность Луны выпадало очень большое количество метеоритов и астероидов, при взрывах которых также возникали кратеры разных размеров и структур. В настоящее время метеориты выпадают на Луну гораздо реже, а степень вулканизма значительно снизилась.

Внутреннее строение. Внутреннее строение Луны определяется так же, как и Земли, то есть по характеру распространения продольных и поперечных

сейсмических волн. Из анализа гравитационного поля Луны был сделан вывод о том, что ее плотность незначительно изменяется с глубиной, то есть в отличие от Земли, большой концентрации массы в центре не наблюдается. Самый верхний слой видимой стороны Луны представляет кору, толщина которой составляет около 60 м. Весьма вероятно, что на обратной стороне кора приблизительно в 1,5 раза толще. И в том и в другом случаях кора сложена изверженными кристаллическими базальтовыми породами. Однако по своему минералогическому составу базальты материковых и морских районов имеют заметные отличия. Наиболее древние материковые районы Луны образованы преимущественно светлой горной породой – анортозитами, практически полностью состоящими из среднего и основного плагиоклаза с небольшими примесями пироксена, оливина, магнетита, титаномагнетита и других пород. Кристаллические породы лунных морей, подобно земным базальтам, сложены в основном плагиоклазами и моноклинными пироксенами (авгитами), которые образовались при охлаждении магматического расплава на поверхности или вблизи ее. Лунные базальты менее окислены, чем земные, а это означает, что они кристаллизовались с меньшим взаимодействием кислорода с металлом. Кроме того, по сравнению с земными породами наблюдается меньшее содержание некоторых летучих элементов и обогащенность многими тугоплавкими элементами. За счет примесей оливинов и особенно ильменита районы морей выглядят более темными, а плотность слагающих их пород выше, чем на материках.

Под корой расположена мантия, в которой, подобно земной, можно выделить верхнюю, среднюю и нижнюю. Толщина верхней мантии около 250 км, средней – 500 км, а ее граница с нижней мантией расположена на глубине около 1000 км. До этого уровня скорости поперечных волн почти постоянны; это означает, что вещество недр находится в твердом состоянии, представляя собой мощную и относительно холодную литосферу, в которой долго не затухают сейсмические колебания. Состав верхней мантии предположительно оливин-пироксеновый, а на большей глубине присутствует шпинель и

встречающийся в ультраосновных щелочных породах минерал мелилит. На границе с нижней мантией температура близка к интервалам температур плавления, где начинается сильное поглощение сейсмических волн. Эта область представляет собой лунную астеносферу.

В самом центре находится небольшое жидкое ядро радиусом менее 350 км, через которое не проходят поперечные волны. Ядро может быть либо железосульфидным, либо железным; в последнем случае оно должно быть меньше, что согласуется с оценками распределения плотности по глубине. Его масса, вероятно, не превышает 2% от массы всей Луны. Температура в ядре зависит от его состава и изменяется от 1300 до 1900 К.

5.6. Человек и космос

Космонавтика и космическая деятельность. Эпоха освоения человеком космического пространства, начатая запуском первого искусственного спутника Земли, привлекла к себе внимание всего мира, и теперь без космонавтики немыслимо будущее цивилизации. Занимаясь специальными естественнонаучными и техническими проблемами, связанными с космосом и космонавтикой, науки должны соотносить свои частные вопросы с общим ходом научно-технического и социально-экономического развития, руководствоваться всеобщими теоретико-методологическими и философско-мировоззренческими положениями. Это вопросы о необходимости и причинах освоения космоса, о целях и перспективах развертывания космической деятельности людей, о влиянии космонавтики на науку, технику, производство, культуру, на будущее человечества.

Космонавтика не сводится, разумеется, лишь к сумме технических средств, позволяющих человеку выносить приборы и выходить самому в пространство за пределами планеты Земля. Еще основатель теоретической космонавтики К.Э. Циолковский говорил, что для него ракета – только способ проникновения в космос, но отнюдь не самоцель.

В.П. Глушко и Б.В. Раушенбах определяют космонавтику как «совокупность от-

раслей науки и техники, обеспечивающих освоение космоса и внеземных объектов для нужд человечества с использованием разного рода космических летательных аппаратов».

Если историю космонавтики условно разделить на десятилетние периоды, то первое десятилетие можно назвать сбором экспресс-информации об околоземном космосе и ближайших небесных телах, об условиях работы механизмов и пребывания живых существ в космическом пространстве. Какого-либо предпочтительного направления космонавтики еще не было. Этот период характеризуется обилием космических аппаратов самого различного назначения: создавались спутники метеослужбы и связи, направлялись первые автоматические станции к Луне, Венере и Марсу, исследовались магнитные пояса Земли, метеоритная и радиационная обстановка в ближайшем космосе, испытывалось воздействие условий невесомости и других факторов космического полета на организм животных и человека, проводились первые наблюдения атмосферы и поверхности Земли из космоса.

Второе десятилетие отмечено комплексным характером исследований и особенно нацеленностью на удовлетворение хозяйственных, научных, социальных и других потребностей на Земле. Это нашло свое воплощение в многоцелевых программах работы обитаемых космических кораблей и станций и в буквальном расцвете прикладной космонавтики с ее спутниками метеорологии, связи и вещания, навигации, исследования земных ресурсов и природной среды планеты. Разумеется, продолжались исследования ближайших небесных тел и были начаты исследования более отдаленных тел (Меркурия, Юпитера и его спутников).

В период третьего десятилетия космической эры приобретают опытную базу и увеличивают удельный вес такие направления космических исследований, как долговременные полеты экипажей и изучение условий длительного пребывания человеческого организма в космосе, а также многообразные технологические процессы в условиях невесомости, естественного вакуума, сверхнизких температур (плавка, литье, выращивание кристаллов, получение раз-

личных соединений). Тем самым подготавливаются условия для весьма длительного или даже постоянного обитания и налаживания некоторых видов производства в космосе. Следовательно, космонавтика перешла из исследовательско-испытательной стадии в стадию производственную, составляя часть хозяйственной деятельности.

В четвертое десятилетие (конец 1980-х – 1990-е годы) усилилась практическая отдача космонавтики, ее социальная ориентация, начали формироваться основы совместной деятельности многих стран на орбите (вначале на станции «Мир», а в дальнейшем на международной космической станции, создаваемой в основном США и Россией). Несмотря на рост антикосмических настроений в последние годы как в России, так и в мире в целом, развитие цивилизации уже немыслимо без освоения космоса и возврат назад в докосмическое прошлое невозможен. При существующих тенденциях и перспективах в начале третьего тысячелетия человечество вступает в такую стадию освоения и использования космоса, когда о нем можно будет говорить как о мировом сообществе, обладающем существенными признаками космической цивилизации. Люди будут использовать энергию и другие природные условия не только Земли, но и добавочную энергию центрального светила нашей Солнечной системы, налаживать производство вне Земли и приспособлять космическое пространство и, быть может, некоторые небесные тела для длительного или постоянного пребывания там человека.

Современная космонавтика имеет свою историю. Особое влияние на основоположника теоретической космонавтики К.Э. Циолковского оказала античная идея о взаимопроникновении человека и космоса: еще древние греки «находили» во Вселенной человека, как в человеке «обнаруживали» Вселенную. Эта созерцательно-мифологическая идея античных мыслителей о единстве человека и космоса имела значение и в формировании «космического» стиля мышления Циолковского, который, конечно, вышел за пределы чисто астрономического аспекта. Эта идея является одним из ценнейших завоеваний древней натурфилософии и имеет не меньшее значение, чем высказанная тогда же идея

атомизма, и ее роль стала понятной только сейчас благодаря успехам современной космонавтики. Мощный импульс «космизации» мышления дало открытие Коперника и идеи его последователей – Д. Бруно, Г. Галилея, И. Кеплера, И. Ньютона, Н. Лобачевского, А. Гумбольта, К. Тимирязева, А. Эйнштейна, В. Вернадского, А. Чижевского и других ученых, которых относят к естественно-научному направлению *антропокосмизма*. Формирование космической настроенности и интеллектуальной истории человечества носило интернациональный характер, и открытия ученого в одной стране оплодотворяли, служили почвой для новых всходов и взлетов космической мысли ученых других стран. Из научно-фантастической формы идея полетов в космос к концу XIX в. обрела свое первое научно-теоретическое бытие. Если Коперник отверг своего рода «природный» геоцентризм, представление о Земле как центре Вселенной, приблизив человечество к пониманию истинной системы мироздания, то Константин Эдуардович Циолковский (1857–1935) сделал не менее революционный шаг, который приблизил людей к пониманию их собственной роли в системе природы мироздания. Коперник просто отразил то, что существовало в природе до и независимо от человека, природу космоса такой, какая она была и есть сама по себе, заменив субъективные геоцентрические представления Аристотеля – Птолемея объективными. Циолковский же, опираясь на коперниканские представления, которые объясняли строение мироздания, поставил вопрос о его изменении, о проникновении человека в те области Вселенной, где люди никогда не смогли бы появиться, оставаясь только обитателями своей планеты. Многие *социально-философские идеи*, связанные с освоением космоса, Циолковский высказывал гораздо раньше, чем конкретные соображения по устройству и принципу полета ракеты в космос. Вклад его в развитие теоретической космонавтики невозможно в полной мере объяснить и понять, если научно-техническое творчество ученого рассматривать вне связи с его философскими взглядами и миропониманием, в которых доминирующую роль играет космическая направленность мышления. Именно эта устремленность мышления привела его к предложению использовать ракету как средство выхода за пределы

планеты.

Практическая реализация результатов и идей космонавтики Циолковского началась лишь в 20–30-х годах XX в. в трудах и разработках ученых нашей страны – *Ф.А. Цандера, Ю.В. Кондратюка, С.П. Королева, В.Глушко, М.К.Тихонравова* и других. Теоретико-экспериментальный период истории космонавтики продлился еще три десятилетия. За это время были построены ракеты-носители и ракетные двигатели, позволившие запустить в октябре 1957 г. в СССР первый искусственный спутник Земли, который возвестил всему миру о рождении практической космонавтики. Космонавтика, конечно, не только имеет прямое отношение к процессам научно-технической революции (НТР), но и занимает в них особое место.

Освоение космоса – комплексная задача и междисциплинарная научная проблема, она характеризуется существенными признаками, свойственными НТР в целом: в ракетно-космической технике широко используются автоматизированные системы, участвуют новейшие средства получения, передачи и обработки информации; в подготовке к реализации космических программ интегрируются многие научные дисциплины и технические направления. Чтобы иметь представление о комплексном характере космонавтики как научно-техническом и индустриальном явлении, перечислим основные проблемы, которые непосредственно составляют ее содержание; теория космических полетов (расчеты траекторий полета); проектирование космических летательных аппаратов, ракет, двигателей, систем управления, пусковых сооружений; технические проблемы, включающие создание упомянутых объектов, а также ряд других (научных приборов, наземных систем управления полетами, служб транспортных измерений, служб телеметрии); организационно-управленческие мероприятия, связанные с подготовкой и осуществлением космических программ; международно-правовые и политические проблемы, связанные с этими полетами; медико-биологические – создание необходимых условий и систем жизнеобеспечения, компенсация неблагоприятных изменений в организме, связанных с невесомостью, перегрузкой, радиацией и влиянием других факторов

космоса и космического полета. Проблемы, входящие в компетенцию космонавтики, свидетельствуют об интегративно-общенаучном характере космонавтики как научного направления. И хотя в космонавтике преобладают науки естественно-технического цикла, в освоение космоса постепенно включаются и науки общественные – право, экономика, история, психология, социология, философия. Космонавтика осуществляет мощный синтез многих отраслей научного знания в единый общенаучный комплекс, ориентированный на изучение космоса и Земли из космоса с помощью ракетно-космических средств.

Развитие космонавтики затрагивает в основном четыре области технико-производственной и хозяйственной деятельности. Во-первых, это создание, производство ракетно-космической техники и обслуживающего ее «космического хозяйства» Земли, то есть организация полигонов, станций слежения и т.д. Во-вторых, это использование космических аппаратов для связи, навигации, метеорологии, то есть создание спутников прикладного назначения, непосредственно включенных в индустриально-хозяйственные системы. Космические аппараты – и в особенности орбитальные их группировки – представляют в этом случае продолжение производственно-технических комплексов Земли, и при их помощи решаются важнейшие задачи дальнейшего интенсивного развития индустрии и сельского хозяйства, формируется модель устойчивого развития. В-третьих, информация, полученная в ходе космических исследований, и новшества, достигнутые в процессе создания космической техники, ныне полноводным потоком устремляются в чисто земные, некосмические отрасли техники и производства, поднимая их качественный уровень. Наконец, четвертая область техники и производства, возможность развития которых открылась лишь благодаря космонавтике, – это создание *космической технологии* – индустрии вне Земли в широких масштабах. Осуществление в космосе технологических процессов – плавки, литья, выращивание кристаллов, получение новых сплавов и соединений, некоторых медикаментов и т.п. приведет к новой промышленной революции. Действительно, специфические естественные условия космического пространства (невесомость, глубокий вакуум, различные есте-

ственные излучения, широкий диапазон температур в зависимости от солнечного облучения или его отсутствия и др.) позволяют революционизировать многие производственные процессы. В частности, возможны изготовление недоступных земному производству форм и конструкций (например, бесшовных полых изделий больших размеров), широкое использование радиационных процессов, космических источников энергии и вещества.

Новые технологии, приборы, агрегаты и материалы, специально созданные для спутников, космических кораблей и автоматических межпланетных станций, находят эффективное применение в производстве обычной «земной» продукции. Например, выполненные по заказу космической промышленности особо точные станки и инструменты обеспечивают для земного производства резкое повышение качества обработки и контроля деталей. Происходит также существенное ограничение веса и габарита приборов, и это оказывает значительное влияние на прогресс микроминиатюризации технических средств вообще. Достижения в области космической техники содействовали решению многих «земных» проблем автоматизации, совершенствования средств дистанционного управления и оперативного контроля, методов переработки и передачи информации и т.п.

Характерной особенностью отмеченных основных направлений изучения и использования космоса и Земли из космоса является органическая связь научных исследований и технико-производственной деятельности. Важной особенностью космических исследований является взаимопроникновение и взаимосвязь фундаментальных и прикладных проблем. В изучении космоса они буквально переплетаются, образуют целостную систему. В настоящее время соотношение исследований космоса и остальных «земных» наук существенно изменилось по сравнению с наукой докосмической эры. Физика, химия, биология, медицина, геология и многие другие естественные, технические и даже общественные науки имеют свои «космические» продолжения, они «рассчитаны» и для Земли, и для космоса.

Важнейшей проблемой в космических исследованиях является информа-

ция, которая в освоении Вселенной выступает на первый план по сравнению, например, с энергией, массой космических тел, пространством и условиями ближнего и дальнего космоса. Возможно, в будущем человек станет использовать космос не только как ценный источник информации, но и как кладовую неисчерпаемых природных ресурсов, энергии, безграничного пространства. Но сейчас даже то космическое вещество, которое автоматы и космонавты взяли с Луны, ценится отнюдь не как минеральное сырье для земной индустрии, а лишь как объект познания, позволяющий получить важную научную информацию. То внимание, которое уделяется проблеме информации на современном этапе развития космонавтики, позволяет сделать вывод, что несколько десятилетий проникновения человека во внеземные пространства можно условно назвать «информационным» периодом освоения космоса.

В современных условиях наиболее эффективное освоение космоса и использование достижений космонавтики возможно лишь на пути широкого развертывания международного сотрудничества, объединения усилий всех стран земного шара. Для этого имеются определенные социально-экономические, политические, правовые и научно-технические возможности и предпосылки, которые изложены в документах Конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Освоение космоса, как известно, требует значительных ассигнований, и самостоятельная реализация многих космических проектов отдельными странами оказывается дорогостоящим, а в ряде случаев даже невыполнимым мероприятием без участия других государств. Космические аппараты запускают различные страны, и их траектория проходит над территорией многих государств; следовательно, необходимо международное регулирование космической деятельности людей. Если к этому добавить соображения безопасности действий и посадки космонавтов и ряд других аргументов чисто земного, общечеловеческого характера, то становится понятным, почему космические исследования и освоение космоса носят международный и в принципе планетарный характер. На первом этапе международное сотрудничество ограничивалось в основном обменом и совместным обсуждением полученных результатов, сопоставлением

методик и в лучшем случае координацией ряда проектов, затем наступила очередь многосторонней кооперации в проведении наземных наблюдений, связанных с космическими экспериментами. Сейчас же становится важным создание объединенными усилиями различных государств космических аппаратов и использование их в мирных научных и практических целях.

Таким образом, освоение космического пространства, наряду с другими кардинальными проблемами и задачами современности, имеющими общечеловеческий характер, открывает возможности более эффективного использования огромного научно-технического потенциала, который накопило общество в ходе исторического развития.

Существование жизни и разума вне нашей планеты. Оно является пока гипотетическим. Эти вопросы интересовали еще мыслителей античной Греции и Нового времени, а ныне проблему внеземных цивилизаций (ВЦ) разрабатывает целый ряд специальных наук, прежде всего астрономия. Характерная черта современных исследований проблемы множественности (обитаемости) космических миров, в отличие от классического периода, — появление не натурфилософских, а специальных научных работ. Интересно, что акцент в этих исследованиях делается на проблеме связи с внеземными цивилизациями (эта проблема получила аббревиатуру SETI, от англ. «связь с внеземным разумом»). Однако в дальнейшем, примерно с конца 1970-х годов, появился новый термин — SETI («поиск внеземного разума»). Замена термина «связь» на «поиск» вполне оправданна: ведь вначале ВЦ необходимо обнаружить.

Со времен Джордано Бруно с его наивно-умозрительными философскими представлениями о Вселенной и человечестве в их развитии произошли существенные изменения. Между тем специалисты, занимающиеся проблемой ВЦ, плохо информированы в области философии и социального знания. В своих исканиях они, как правило, руководствуются сциентистско-техницистским подходом, уделяя основное внимание естественнонаучным, астрономическим условиям возможного существования ВЦ, техническим аспектам связи с ними. Роль экономических, экологических факторов в цивилизационных процессах во

Вселенной если не игнорируется полностью, то, во всяком случае, не выдвигается на должное место. В результате техницистско-естественнонаучное направление исследований превалирует над философско-гуманитарным, и общая картина исследований в области ВЦ явно деформирована таким миропониманием.

Проблема внеземных цивилизаций и связи с ними является комплексной, междисциплинарной и общенаучной, не связанной исключительно с астрономией и космонавтикой. Разработка проблематики внеземных цивилизаций существенно зависит от возможности выявления закономерностей и тенденций развития, которые присущи не только нашей земной цивилизации, но и другим предполагаемым цивилизациям космоса. При этом решаются две основные задачи. Первая – содействовать прогрессу тех наук и решению тех «земных» проблем развития человечества, которые исходят из представлений о нашей земной цивилизации как о системно-целостном развивающемся объекте, трансформирующемся в космоноосферу. Вторая задача – поиск ВЦ, их обнаружение и установление с ними контакта. Естественно, последняя задача оказывается более фундаментальной, ее решение более отдаленным, но первая актуальна уже сейчас. На первый взгляд исследования проблемы ВЦ и разработки глобальных и общенаучных проблем современности не связаны между собой: одни ставят абстрактные внеземные цели, другие характеризуют конкретную деятельность людей на нашей планете. Связь, однако, имеется. Ее концептуальный характер вытекает из идеи антропо(социо)геокосмизма, которая была распространена и на проблематику ВЦ. Суть дела заключается в том, что изучение проблемы ВЦ имеет смысл не только для установления контакта с некими потусторонними мирами, но и для более углубленного исследования перспектив выживания и развития земного человечества, выявления закономерностей и перспектив ноосферогенеза как на планете, так и вне ее. Именно этот глобально-земной аспект превалирует в современных исследованиях, касающихся общих характеристик и социальных закономерностей развития ВЦ.

Можно присоединиться к мнению ряда ученых, утверждающих, что решение проблемы связи с внеземными цивилизациями дало бы возможность

землянам воспользоваться их опытом и знаниями. Однако дело обстоит совсем по-другому: наша цивилизация является информационной моделью, из которой мы черпаем гипотетическое знание о ВЦ, и пока этот опыт и пример не будут как следует изучены, не получают соответствующей «космической интерпретации», надеяться на помощь иных цивилизаций наивно. Этот поиск носил бы столь же неопределенный характер, как и посылка всенаправленного сигнала с целью дать иным цивилизациям информацию о нашем существовании.

Какие бы вопросы о ВЦ ни ставились, исследователи обязательно исходят (явно или неявно) из «похожести» жизни и цивилизации в космосе на земную жизнь, на земное человечество. Это основной методологический, теоретико-познавательный принцип всех работ по проблеме ВЦ; отступление от него означало бы перевод научных исследований в область ненаучной фантастики. Поэтому он должен быть осознан как единственный на сегодня эффективный принцип вероятностно-теоретического приращения знаний о ВЦ. В ходе исследования проблемы ВЦ решаются реальные задачи. Так, при изучении логических и семиотических проблем с целью построения языка для межзвездных передач происходит дальнейшее обогащение и обобщение знаковых систем, расширение соответствующих областей знания. Выяснилось, что первоначально созданные информационные средства носят в значительной степени антропоморфный характер и рассчитаны на наличие у коммуниканта понятий, которые выработаны людьми.

Идеи, которые развиваются в работах, исследующих закономерности развития ВЦ (физические, технические, социально-экономические, экологические и др.), очень напоминают идеи глобальных проблем научно-технической революции, и особенно глобального моделирования. При исследовании проблемы развития цивилизаций космоса анализируются такие количественные характеристики, как пространство заселения, общая численность населения, поверхностная и объемная плотность населения, общая потребляемая энергия, энергия на одного потребителя, объем накопленной информации, ее количество на одного потребителя и т.д. Результаты, полученные при разработке глобальных

проблем, «очищенные» от земной специфики и отдельных конъюнктурных нюансов, могут быть использованы в исследованиях социального аспекта проблемы ВЦ, в то время как последние стимулируют развитие новых подходов в глобалистике и космоглобалистике. Показательны в этом отношении принципиальный разрыв с геоцентризмом, осознание того, что будущее нашей цивилизации, позитивное решение глобальных проблем уже не могут обойтись без освоения космоса и становления космоноосферы. Если бы удалось установить сам факт существования ВЦ, это, вне всякого сомнения, вызвало бы в нашем миропонимании революцию. Но пока ВЦ не обнаружены, мы можем извлекать информацию из чисто теоретического контакта с ними как гипотетическими объектами, космическими копиями нашей цивилизации, совершившими «великий переход» к космоноосфере. Как непосредственный контакт с реальными ВЦ, так и «контакт через познание» могут принести пользу, играя роль стимулятора познания глобально-космических характеристик человечества, закономерностей становящейся космоноосферы. Исследования проблемы ВЦ позволяют углубить и расширить наши представления о процессе ноосферогенеза на космическом этапе развития. В этом особенность ноосферно-методологической ориентации: не только развитие мировоззрения, обогащение научной картины мира, но и определенная социальная эффективность, актуальность, гуманистическая направленность поиска на всестороннее изучение человека и общества.

Если исходить из возможности существования ВЦ, то каждую цивилизацию, берущую начало на какой-либо планете, нельзя рассматривать как сугубо автономный цивилизационный процесс, охватываемый вместе с другими представителями социальной ступени развития только общими закономерностями. Они могут служить основой для новой общности в смысле целостности. Речь идет о таком объединении цивилизаций в единую систему – астроинфоноосферу, очередную ступень ноосферного развития, в которой социальная ступень развития материи в полной мере проявит свою космическую природу. Предполагаемая социальная эволюция материи будет представлять не только чисто планетарный автономно протекающий ноосферно-цивилизационный процесс,

независимый от остального социального космоса. Такая автономность если и существует, то лишь до определенного исторического периода развития ноосферной цивилизации, осваивающей космическое пространство в широких масштабах. Коль скоро в космосе устойчиво существуют цивилизации ноосферного уровня развития, то рано или поздно они непременно вступят в контакт и образуют информационно-ноосферную систему.

5.7. Универсальная эволюция и темная материя

В конце XX – начале XXI в. произошли научные открытия, которые позволяют по-новому взглянуть на процесс эволюции, и в частности универсальной эволюции. Предполагается, что наша Вселенная не одинока и уже не представляет собой Универсум, вмещающий в себя все сущее. То, что именовалось ранее Вселенной, теперь считается одной из минивселенных.

Расширение представлений на проблему эволюции и принципиально новое видение универсальной эволюции в значительной степени вызваны открытием новых и загадочных субстанций – *темной энергии* и *темной материи*. До открытия темной энергии к темной материи уже относили так называемое скрытое вещество, или, как чаще называют, темную массу. Если эта вторая форма материи занимает еще около 20% массы / энергии Вселенной, то получается, что вся современная наука изучает всего лишь несколько процентов всего материального содержания Вселенной. К сожалению, во многих известных учебно-научных изданиях представлена устаревшая картина мира. Современная научная картина мира в ее наиболее общем виде должна давать системно-целостный образ неживой и живой природы, человека и человечества, полученный на основе синтеза и обобщения всего научного знания. Несмотря на то что со второй половины XX в. в основе общенаучной картины мира лежат идеи универсального эволюционизма, время от времени та или иная наука неожиданно вносит вклад, который оказывается весьма кардинальным для понимания мироздания и роли в нем человека.

Темная энергия была обнаружена двумя международными группами кос-

мологов-наблюдателей в 1998–1999 гг. С тех пор активно ведется поиск наблюдательных подтверждений ее существования. Эта необычная форма бытия космической материи пока что слабо вписывается в создаваемую в последнее время «вещественно-эволюционную» научную картину мироздания и мало исследована в связи с весьма актуальной сейчас проблемой универсальной эволюции во Вселенной.

В научной литературе еще не установилось общепринятых наименований темных форм материи. Постараемся расставить их по «понятийным полочкам» для того, чтобы представления о темной стороне Вселенной были более четкими и понятными не только специалистам в области космологии. В дискуссионно-гипотетической форме проанализируем, какие существенные концептуальные инновации при рассмотрении невидимых (в смысле – темных) форм материи могут быть внесены в концепцию глобальной эволюции материи и в общенаучную картину мира.

Наука (хотя и в дискуссионной форме) принимает гипотезу о существовании очень стабильной части Вселенной, которую в обобщенном виде будем именовать *темной материей*, состоящей из двух основных форм – *темной энергии* и *темной массы* (табл. 5.3). В англоязычной литературе темную массу называют темной материей (dark matter). В отечественной научной философии понятие материи имеет предельно общее значение, в силу чего нельзя считать, что темная энергия является чем-то нематериальным. Поэтому предлагается темную энергию и темную массу считать формами материи (как и вещество), которые имеют разную природу.

Определение самого понятия «темная материя» далеко неоднозначно. Некоторые полагают, что это понятие вообще малоприменимо, поскольку уже есть «темное вещество» (темная масса), которое, так же как и термин «темная энергия», действительно является темным потому, что не излучает света. Эти ученые предпочитают иное название для темной энергии, а именно «космический вакуум». Однако термин «космический вакуум» в определенной степени созвучен термину «физический вакуум», который, возможно, принципиально

отличается от темной энергии.

Таблица 5.3

Фундаментальные формы бытия материи во Вселенной

Параметры	Вещественная (видимая) часть Вселенной: барионная материя	Темная энергия (космический вакуум)	Темная масса (скрытое вещество)
Плотность от общей плотности энергии мира	3%	67%	30%
Средняя плотность массы	2×10^{-31} г/см ³ (звезды, молекулярные облака водорода и т.д.)	7×10^{-30} г/см ³ (одинакова во всем мироздании)	2×10^{-30} г/см ³
Характеристики развития	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эволюционирует (сохраняется через эволюцию). 2. Подчиняется закону всемирного тяготения. 3. Расширяется около 7 млрд лет с ускорением 	<ol style="list-style-type: none"> 1. После Большого взрыва не изменяется и не эволюционирует, равномерно заполняет все мироздание. 2. Обладает свойством антигравитации, вызывая ускоренное расширение Вселенной. 3. Состав и структура неизвестны; предполагается гомогенным образованием. 4. На темную энергию не влияет ни вещество, ни темная масса, но установлено обратное влияние 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изменяется, но не эволюционирует как нормальное вещество. 2. Подчиняется закону всемирного тяготения. 3. Состоит из очень тяжелых частиц не установленной природы, слабо взаимодействующих между собой и с обычным веществом

По разным оценкам, во Вселенной темные компоненты составляют 96–97% всего материального содержания мироздания. Они невидимы в отличие от светящейся (или видимой) Вселенной и сохраняются в той или иной степени в слабо либо вообще неэволюционной форме на фоне четко выраженной эволюции вещества. Темная энергия противостоит гравитации и позволяет благодаря свойству «всемирного антитяготения» расширяться Вселенной с ускорением. Однако не только необычное свойство антигравитации темной энергии привлекает внимание, но и своего рода «неизменность» существования космического вакуума как наличие у него постоянных плотности и отрицательного давления. Предполагается, что космический вакуум, влияя на расширение Вселенной (антигравитация), тем не менее, сам остается стабильной (во всяком случае после Большого взрыва), не меняющейся формой материи, на которую ничто не воздействует. В этой наиболее распространенной форме бытия материи, по современным представлениям, явно преобладает свойство самосохранения над эволюцией. Ряд ученых предполагают, что космический вакуум (темная энергия)

мог претерпеть несколько фазовых переходов прежде, чем произошло событие, которое назвали Большим взрывом. Тем самым Большому взрыву могла предшествовать определенная трансформация вакуума, прошедшая несколько фаз. Однако после Большого взрыва темная энергия, возможно, не менялась и меняться не будет.

Итак, темная материя – материя, которая невидима (она не излучает), состоит из двух принципиально разных по своей природе частей – антигравитирующей темной энергии, плотность которой составляет порядка 67–75% от всей плотности энергии Вселенной, и «скрытого вещества», плотность которого составляет примерно 23–25% от общей плотности энергии мироздания, превышая плотность обычного видимого вещества, то есть нашей «светящейся» Вселенной, в 5–6 раз. На долю последнего остается всего 3–4% общемировой плотности энергии. Темная масса, обладающая пока не совсем ясной вещественной структурой и диффузной формой, собирающаяся там же, где и обычное вещество (и даже «притягивающая» его), в отличие от темной энергии подвержена тяготению, причем она возникла сразу же после Большого взрыва и вначале существенно влияла (доминировала) на дальнейшую эволюцию материи. Вследствие этого в первую половину времени своего существования Вселенная расширялась с замедлением. Во вторую половину этого времени в ней стали преобладать силы антитяготения темной энергии, и ее расширение происходило уже с ускорением. Темная масса, подвергаясь силам тяготения, не взаимодействует ни с веществом, ни с излучением, она не поглощает ничего и не светит, однако в ней довольно четко прослеживаются процессы изменения, отличные от эволюции вещества. Об этом свидетельствует развитие в темной массе гравитационных неоднородностей в период до рекомбинации электронов. Происходило также снижение плотности темной массы, благодаря чему в определенный период перестало доминировать всемирное тяготение, уступив силам «вселенской антигравитации». Возможно, что «скрытое вещество» состоит из весьма долгоживущих компонентов колоссальной плотности (в крупномасштабном плане из нейтронных звезд, остывших белых и коричневых карликов,

черных дыр, в том числе реликтовых и других составляющих, возникших еще при Большом взрыве).

Темная часть Вселенной оказывается на самом деле основной, базовой составляющей всего материально-энергетического содержания Вселенной, в фундаменте которой самосохранение явно превалирует над эволюцией, которая характерна для видимой Вселенной. В мироздании доминирует составляющая, которая не изменяется и не эволюционирует (темная энергия), затем идет слабо изменяющаяся и почти не эволюционирующая часть Вселенной (темная масса) и, наконец, наиболее изученный наукой эволюционирующий фрагмент в форме обычного видимого вещества.

Таким образом, современная космологическая (пока в существенной степени гипотетическая) картина мира дает нам неизвестную или малоизученную формы самосохранения материи, являющиеся причиной и источником существования звезд в Галактике, скоплений галактик, сверхскоплений и других форм барионной материи (кварки, бозоны, лептоны), которая и составляет «видимую» Вселенную. Предполагается, что темная материя и барионная материя взаимосвязаны, и даже Большой взрыв может интерпретироваться как фазовый переход упомянутой части темной материи в «барионную» форму бытия.

Природа свойства самосохранения крупномасштабных структур нашего мира связана с устойчивостью нашей Вселенной в течение многих миллиардов лет. Это самосохранение как доминирующая и фундаментальная составляющая бытия материи предполагает асимметрию между темной и барионной формами материи. Эта асимметрия должна и далее сохраняться, ибо в противном случае Вселенная либо коллапсировала бы в новую сингулярность (что сейчас в принципе исключено в силу антигравитационной природы ускоренного разбегания галактик), либо барионная материя давно бы трансформировалась в излучение. В связи с этим уместно обратить внимание на то, что А.А. Фридманом было теоретически выявлено существование открытых и никогда не коллапсирующих моделей Метагалактики, содержащих только обыкновенное вещество. Для такого типа моделей важно только, чтобы суммарная плотность всех видов ма-

терии была меньше, чем критическая плотность (по современным оценкам, плотность нашей Метагалактики близка к критической). В такой открытой фридмановской модели вполне можно избежать коллапса и без наличия темной энергии.

С позиций современной науки важно ответить на вопрос: как может самосохраняться материя без эволюции и тем более без изменений? Ответа на этот вопрос мы в полной мере не получим, поскольку и термодинамика, и ныне модная синергетика не позволяют нам построить какую-то объяснительную модель такого самосохранения материи в течение почти полутора десятков миллиардов лет, тем более что это не какая-то небольшая локальная составляющая Вселенной (типа центральной сингулярности в черной дыре), а ее подавляющая часть, почти три четверти ее масс-энергетического содержания. Если темная энергия сохраняется на протяжении многих миллиардов лет, то внутри нее либо должны действовать пока неизвестные нам законы сохранения, либо следует предположить там полное отсутствие движения, характерного для вещественной материи. А это означает, что согласно современным синергетическим представлениям (применимым для вещественной части Вселенной) в космическом вакууме существует необычный способ сохранения материи. Это пока необъяснимо с позиций синергетики, изучающей процессы самоорганизации и самодезорганизации, которых в темной энергии пока не обнаружено. По современным представлениям, темная энергия не является самоорганизующейся субстанцией (хотя, например, предполагается существование таких экзотических объектов, как черные дыры, состоящие из темной энергии – это уже эволюционирующая темная энергия либо часть ее, включенная в вяло протекающий эволюционный процесс). Следовательно, с большой степенью вероятности можно считать, что существует некоторая сфера Вселенной, причем самая обширная, при изучении которой синергетика пока бессильна объяснить ее неизменное либо очень медленно меняющееся бытие. Здесь бытие материи в наибольшей степени связано с покоем, самосохранением и феноменальной устойчивостью космического вакуума, отталкивающего от себя все отличаю-

щиеся от него формы существования материи.

Итак, свойство самосохранения материи и конкретных ее систем реализуется по-разному в зависимости от той или иной основной формы существования материи как ее самосохранения. Между тем материя, формы ее бытия всегда связывались с изменением, движением, развитием. Собственно, так считалось до недавнего времени, пока астрофизика и космология не преподнесли сюрприз темной материи в двух ее формах: практически неизменной (темная энергия – космический вакуум) и относительно неизменной (темная масса, подверженная лишь гравитационным и, возможно, слабым взаимодействиям). Именно неизменность темной энергии в той или иной форме не дает оснований включать ее в процесс глобальной эволюции, хотя к эволюции Вселенной эта форма материи имеет отношение, поскольку влияет на нее через антигравитацию. На наш взгляд, глобальная эволюция характерна только для вещественной части Вселенной (где реализуется антропный космологический принцип и существует такой атрибут, как информация). В других минивселенных и невидимых формах нашей Вселенной пока не обнаружен такой целостный и временно непрерывный процесс самоорганизации, как глобальная эволюция. В темной энергии, несмотря на «косвенность доказательств», пока не выявлены известные нам эволюционные процессы. Что касается темной массы, то она в принципе может считаться слабоэволюционирующей частью Вселенной, хотя ее эволюция не является похожей на эволюцию обычного вещества (в силу иной структуры и очень слабых взаимодействий между своими составляющими и окружающей средой). Темная масса сама по себе ближе к эволюционирующей вещественной Вселенной, поскольку состоит из каких-то составляющих ее частиц (на микроуровне эти «элементарные» частицы, возможно, в тысячу раз тяжелее протона, природа которых еще не установлена) и подвержена в основном гравитационному взаимодействию, то есть одному из четырех видов фундаментальных физических взаимодействий. Не исключено, что темная масса является каким-то «переходным состоянием» материи между космическим вакуумом и барионной материей как основными формами самосохранения мате-

рии.

По «степени эволюционируемости» материя существует всего в нескольких формах: 1) неизменной (или почти неизменной) в форме космического вакуума (который пока преждевременно отождествлять с физическим вакуумом, являющимся, вероятно, еще одной формой самосохранения материи), 2) в форме очень мало меняющейся вещественной темной массы и 3) эволюционирующей вещественной части Вселенной, в которой, по нашему мнению, только и происходит глобальная эволюция. При таком «раскладе» основных форм самосохранения материи вряд ли имеет смысл вести речь о том, что глобальной эволюции подвержена вся Вселенная в целом: это лишь «привилегия» ее вещественного фрагмента. Что касается изменений, имеющих в темной массе, то, скорее всего, их можно назвать «протоэволюцией», своего рода промежуточным феноменом между недвижимостью космического вакуума и эволюцией вещественного фрагмента Вселенной.

Научная картина мира может существенно трансформироваться. Если ранее, на протяжении, пожалуй, почти всего прошлого столетия, происходил процесс смены парадигм, перехода представлений от статическо-стационарной Вселенной к эволюционно-динамическому нелинейному образу Мультиверса (который также с точки зрения инфляционной космологии не эволюционирует), то сейчас не исключено своеобразное «отрицание отрицания». Если в мироздании действительно доминирует темная материя, являясь базовой и наиболее распространенной составляющей Вселенной, то это ведет если не сейчас, то в отдаленном астрономическом будущем к сценарию, который предложили ряд ученых, учитывающих лишь влияние темной энергии (космического вакуума). По мнению *Л.В. Лескова, И.В. Архангельской* и др., поскольку «вакуум неизменен, то и свойства пространства-времени, которые он определяет, также должны быть инвариантными. Мир, в котором господствует вакуум, в межзвездных масштабах должен подчиняться геометрии Евклида и быть неизменным во времени. Следовательно, эволюция мира постепенно затухает, его пространственно-временной каркас, на фоне которого продолжается космологическое расши-

рение, становится все более статичным».

В ходе *глобальной эволюции* как непрерывной самоорганизации материальных систем во Вселенной действует информационный критерий развития. Ранее считалось, что этот критерий характерен для всех форм материи во Вселенной. Однако в свете современных космологических теорий и гипотез придется существенно уменьшить сферу его применения и ограничить в основном областями существования барионной материи, то есть нашей вещественной Вселенной. Короче говоря, информационный критерий эволюции применим там и тогда, где существуют различия, неоднородности, гетерогенности, с которыми связана информация. Информация является свойством материи, которое выражает такую ее характеристику, как разнообразие, о чем писал один из основоположников кибернетики Эшби. Однако в нашей вещественной Вселенной разнообразие находится в движении и передается в ходе взаимодействий от одного объекта к другому. То разнообразие, которое не передается и определенным образом связано, либо входит в структуру и содержание материальных объектов, либо составляет их память (в специально сформированных в них информационных органах). Разнообразие (или отраженное разнообразие как информация) до недавнего времени не изучалось физическими методами, акцентировавшими внимание на энергетических аспектах исследования. Это относилось также к астрофизике и космологии, пока в сферу их поиска не попали необычные космические объекты, где проблема разнообразия и неоднородностей оказалась отнюдь не второстепенной. Прежде всего это касается начальной стадии происхождения Вселенной, размер которой составлял на двадцать порядков меньше радиуса атомного ядра.

Изучение других «экстремальных» состояний материи – черных дыр и иных сверхплотных космических объектов – также привело к определенному выводу об отсутствии разнообразия и однородностей в этих экзотических состояниях космической материи.

Ученые исследовали черные дыры и проблему коллапсирования как сжатия ряда космических объектов в капсулированную форму, включая сингуляр-

ность как «точку» почти бесконечной плотности. В эту точку под влиянием колоссальной гравитации «свертываются», закручиваются в самозамкнутое кольцо пространственные параметры (объем, площадь, протяженность и т.д.), а время там «застывает». Выяснилось, что в этих сингулярно-капсулированных формах материи нет никаких неоднородностей и разнообразия. Согласно правилу Я. Бекенштейна, коллапсирование в черную дыру сопряжено со «сглаживанием» неоднородностей, гетерогенностей и сохранением лишь нескольких масс-энергетических характеристик (массы, собственного момента импульса и электрического заряда). Кроме того, черная дыра как одна из экзотических форм самосохранения материи характеризуется тем, что в ней исчезают все неоднородности той материи, из которой она образовалась. И новая форма («черная») бытия материи уже не «знает» своего прошлого, а в настоящем или не содержит никакого «прошлого» разнообразия, или оно существенно уменьшается. Как замечает И. Николсон, «при образовании черной дыры навсегда теряется огромное количество информации». Такая точка зрения дискуссионна, но, на наш взгляд, имеет право на существование, поскольку темная масса все-таки не является однородной: она состоит из каких-то частиц на микро- и макроуровнях, которые так или иначе взаимодействуют (с помощью гравитационных и слабых взаимодействий) между собой и окружающей космической средой. Эти взаимодействия порождают какие-то слабые и медленные изменения, которые пока не могут квалифицироваться в качестве эволюционных процессов. Однако эти «слабые» изменения в темной массе оказываются неким «переходным» процессом от неизменяющейся гомогенной темной энергии к эволюционирующему веществу Вселенной со сложным и все растущим разнообразием материальных образований. Так как в темной массе все же существует какое-то разнообразие (например, гравитационные неоднородности) и есть изменения, то можно предположить, что там происходят изменения, которые способны приводить к появлению протогалактик. Протоэволюционные изменения в темной массе оказываются необходимым «темно-материальным» условием для появления в дальнейшем эволюционных процессов барионной материи и далее их

сопровожают.

Проблема появления, исчезновения и трансформации разнообразия нашла свое развитие и обобщение в так называемой теореме Пенроуза, согласно которой коллапсу может подвергаться все сущее во Вселенной и даже она сама. В соответствии с этой теоремой, сингулярности неизбежно появляются при гравитационном коллапсе и в случае катастрофического гравитационного сжатия (Большого космологического краха) наше многоликое мироздание может завершить свою историю и исчезнуть в сверхплотной однородной сингулярности-2. Теорема Пенроуза была сформулирована в конце прошлого века до открытия феномена темной энергии, мощная антигравитация которой заставляет Вселенную расширяться с ускорением и исключает ее из числа коллапсирующих объектов, когда в результате гипотетического Большого сжатия может образоваться сингулярность-2. Коллапс как трансформация космической материи в микрокосмическую и как процесс катастрофического гравитационного сжатия переводит обычное вещество в капсулированную и весьма компактную форму со свернутым в микроскопическое бесконечно искривленное шар-кольцо пространством-временем. Черные дыры выступают в качестве одной из основных и фундаментальных форм самосохранения материи в ее скрытой, «темной» форме. Образование черных дыр как превращение видимой материи в невидимую ее форму – это деградационный процесс. Он представляет собой полную противоположность глобальной эволюции, поскольку ведет к тотальной утрате существующего многообразия на всех уровнях бытия материи. В ходе этого самодезорганизационного процесса происходит превращение сложного вещества в сверхплотную однородность и неразличимость, а всего предыдущего многообразия в простое и самотождественное гомогенное образование.

Это «движение к темноте» как своего рода «антиэволюция» космической макроматерии представляет собой не только обратную сторону глобальной эволюции, но и своеобразную форму (регрессивного) развития материи как ее самосохранения в ходе превращения в сингулярно-капсулированную форму: различия исчезают, а материя остается, она продолжает существовать в новой

экзотической гомогенно-сверхплотной форме. Однако между барионной и темной материей может происходить взаимный обмен в предполагаемых своего рода трансформаторах-посредниках, так называемых «серых дырах», где один вид материи переходит в другой вид. Черные дыры как «капсула», самосохраняющая материю в сверхплотной форме, могут превращаться через «серые трансформации» в белые дыры (и даже в возможную их «голую сингулярность»), где начинается процесс «рекапсулирования», и материя вступает на стезю усложнения и роста многообразия своих форм и новообразований. С этих позиций эволюция вещества в масштабах Вселенной как появление и рост ее неоднородностей (многообразия) в явном виде разворачивается лишь начиная с рождения частиц, то есть фактически с плазменно-радиационной и атомарно-вещественной фаз эволюции и расщепления единого фундаментального взаимодействия на известные четыре основных вида физического взаимодействия.

Другая точка зрения носит более гипотетический характер, ибо предполагает, что все же неоднородности существуют и в сингулярно-капсулированной форме материи, но имеют какую-то иную (например, виртуально-квантовую либо субэлементарную) форму своего существования.

Однако в общем неоднородности, а значит, и разнообразие – это атрибут той формы материи, которая приняла структуру вещественной Вселенной, составляющей лишь несколько процентов нашей минивселенной. Это дает возможность использовать информационные представления для описания эволюции и самоорганизации систем барионной материи видимой Вселенной. Сформулированный в начале второй половины XX в. информационный критерий развития оказался в полной мере применимым только к самоорганизующимся формам материи, содержащим и векторно изменяющим разнообразие. В существенной степени этот критерий отображал долговременные процессы прогрессивного развития материальных систем, которые увеличивали свою сложность и уровень эволюции, накапливая разнообразие.

Возможно, что появление и рост количества информации (как разнообразия строения и форм материи) только в небольшой части Вселенной чем-то

обусловлено, действует какой-то пока неизвестный закон распределения форм материи в мироздании, аналогичный уже упомянутой негэнтропийной пирамиде в ходе усложнения вещественных материальных систем. Не случайно за появление и последующий рост разнообразия в эволюционных процессах в вещественном фрагменте Вселенной большей ее части приходится «платить» все большим однообразием и неподвижностью. Менее сложное оказывается и менее изменяющимся, а более сложное, увеличивая свое разнообразие (информационное содержание), все сильнее сужает свой объем, массу, суммарную энергию. Эта тенденция характерна как для обычного вещества, так и для темной материи, в которой более однородная и неизменная темная энергия превышает примерно в три раза скрытое вещество.

Большую часть «темной стороны» Вселенной вряд ли стоит включать в глобальную эволюцию. Но темная часть нашего мироздания создает определенные космические условия, без которых упомянутая эволюция, скорее всего, не происходила бы, по крайней мере в том виде, как мы ее себе представляем.

В первые примерно 300 тыс. лет после Большого взрыва темная масса создала гравитационные неоднородности распределения вещества во Вселенной, в которых позже образовались галактические скопления и галактики. Без этого ее влияния дальнейшая глобальная эволюция была бы, вероятнее всего, невозможна, так как галактики не смогли бы образоваться при отсутствии либо недостаточном количестве темной массы. В первые минуты и часы начала Вселенной распределение обычного вещества в ней было очень равномерным и оставалось таким до момента рекомбинации протонов с электронами при возрасте Вселенной примерно 270 тыс. лет. Гравитационному сгущению обычного вещества препятствовало давление излучения, с которым это вещество интенсивно взаимодействовало. Между тем темная масса с излучением не взаимодействовала, и образованию гравитационных сгущений ничего не препятствовало. Поэтому к возрасту около 270 тыс. лет во Вселенной уже образовалась определенная структура неоднородностей, состоящих исключительно из гравитирующей темной массы. После рекомбинации электронов обычное вещество просто

упало в гравитационные потенциальные ямы, подготовленные до того темной массой. Если бы последняя не успела образовать «темные» протогалактики, то галактики из обычного вещества в дальнейшем не смогли бы сформироваться и упомянутое вещество рассеялось бы во Вселенной. Более того, и современные галактики, и их скопления не могут существовать вне потенциальных ям, образуемых темной массой. Не исключено, что темная масса может взаимодействовать с обычным веществом не только через гравитацию. Существует предположение, что возможно взаимодействие этой части темной материи с обычным веществом через слабое взаимодействие (как в случае с нейтрино).

Можно ли на основании изложенного включать в глобальную эволюцию «темную» часть нашей Вселенной? Однозначного ответа на этот вопрос пока нет, хотя можно полагать, что имеет смысл ограничить в какой-то степени глобальную эволюцию во Вселенной лишь барионными формами материи. Это связано с тем, что «темная» часть Вселенной практически не эволюционирует в том смысле, какой современная наука и научная философия придают понятиям «эволюция» и «развитие» при изучении видимой части Вселенной. Ведь эти понятия предполагают, что соответствующим формам материи и их конкретным материальным образованиям присущи направленные изменения содержания материальных образований, причем, как правило, необратимые (чтобы сохранить их энтропию). Однако, хотя в темной массе и происходят какие-то изменения, это не позволяет предполагать там наличие процессов эволюции и поэтому можно использовать термин «протоэволюция». Протоэволюция – это как бы еще не эволюция в вещественной Вселенной, но уже и не миллиардолетний покой космического вакуума. Между тем многие астрофизики, космологи и философы, которые изучают и интерпретируют феномен темной материи (в основном как темной массы), склоняются к выводу о том, что эта часть нашей Вселенной не эволюционирует. Тем более такой вывод относится к темной энергии.

При обсуждении проблем глобальной эволюции до недавнего времени не возникали вопросы, связанные с ролью в этом процессе темной материи. В ос-

новном речь шла о том, что некоторые глобальные характеристики, прежде всего основные физические константы, соответствующие четырем фундаментальным типам материальных взаимодействий, их подстройка и некоторые уже известные параметры Вселенной (размерность пространства и времени, топология и т.д.) таковы, что допускают процесс эволюции, включая глобальную эволюцию, на вершине которой сейчас находится человек, на которого возлагаются надежды по ее продолжению в космологической перспективе. Между тем существующая темная энергия как космический вакуум с постоянной и неменяющейся плотностью энергии оказывает весьма существенное влияние на процессы эволюции вещественной части Вселенной. Доминируя в нашей Вселенной, темная энергия превосходит в три раза по плотности энергии все другие формы космической материи, вместе взятые, создавая мощную всемирную антигравитацию. При возрасте Вселенной в 6–8 млрд лет началась эра космологического расширения с ускорением из-за того, что плотность темной массы постепенно снижалась и стала ниже плотности вакуума. Это антигравитационное расширение Вселенной сменило космологическую эру доминирования тяготения над антитяготением и вещественных форм материи над вакуумной (темной энергией). То, что пока непонятный мир темной энергии определяет космологическое расширение, которое, по современным представлениям, будет неограниченно долго продолжаться, создает уверенность в том, что Вселенной уже не угрожает Большое сжатие, способное привести к новой (второй) космологической сингулярности.

В теоретической космологии выявлены и иные модели Вселенной, совместимые с эволюцией и глобальной эволюцией. Как отмечалось, имеются открытые и не коллапсирующие модели, которые не содержат темной энергии, то есть космологическая константа равна нулю. Описаны и замкнутые модели Вселенной с темной энергией (с ненулевой космологической постоянной). Если всю темную энергию в таких космологических моделях заменить на темную массу или даже на обычное вещество, сохраняя при этом среднюю плотность материи, то Вселенная останется плоской и открытой, она будет вечно расши-

ряться, но не с ускорением, а с замедлением по степенному закону. Однако реальность существования темной энергии позволяет считать, что перманентное продолжение супермагистрали глобальной эволюции «потребовало» уже не теоретических моделей без грядущего коллапса, а реального существования во Вселенной новой формы материи. Именно эта форма в виде темной энергии обладает свойством «всемирного антитяготения», чтобы мироздание не пошло по регрессивно-деградационному пути и не реализовался вселенский коллапс. В этом видится одно из основных направлений связи существования темной энергии и перспектив продолжения глобальной эволюции, в особенности в контексте ее социоприродного разворачивания. Предотвращая возможное сжатие мироздания, космический вакуум с его антитяготением вполне реально предупреждает вселенскую угрозу коллапса, оказывается «полезным» и для дальнейшего продолжения глобальной эволюции. Однако то, что антигравитация и далее будет расталкивать галактики все быстрее, приведет к тому, что они постепенно исчезнут. Окружающее пространство будет становиться все более пустым (в вещественном смысле), превращая Галактику в изолированный остров, не зависящий от тяготения других космических объектов.

Проблема темной энергии имеет прямое отношение к вопросу об эволюции (либо к отсутствию таковой), внося свою лепту также в космологические дискуссии уже почти столетней давности. Вопрос о неизменности мира обсуждался, начиная с А. Эйнштейна, который полагал, что Вселенная неизменна и статична. Но в 1917 г., применив общую теории относительности к космологии, Эйнштейн неожиданно обнаружил, что созданная им космологическая модель не подтверждает вечность, неизменность и статичность мироздания. Поэтому, чтобы сохранить представления о статичности и неизменности Вселенной, он ввел так называемую космологическую константу в качестве одной из фундаментальных физических постоянных. Первая космологическая модель мира, предложенная Эйнштейном, представляла собой идеально симметричную модель мироздания в пространстве и во времени, и такое представление сохранялось вплоть до открытия в 1929 г. Э. Хабблом космического расширения – уда-

ления галактик друг от друга, что развеяло, и, казалось бы, навсегда, идею статичности и неизменности Вселенной. Однако, как отмечает *А.Д. Чернин*, «не только космологическая константа, но сама исходная идея статической Вселенной неожиданно обрела в наши дни новый вид и новую жизнь... Но поразительней всего, пожалуй, то, что традиционная идея статичности мира находится в замечательном согласии с феноменом космологического расширения». И это действительно так: космологическое расширение как дальнейшее продолжение Большого взрыва вызвано именно темной энергией. Большой взрыв, возможно, вызван этим космическим вакуумом (его спонтанной флуктуацией), и само «разлетание» галактик с ускорением также можно трактовать как новый этап продолжения Большого взрыва, причем космический вакуум везде одинаков, он существует вокруг нас, его плотность и давление неизменны. Установлено, что на темную материю не влияет все остальное материальное содержание Вселенной, но сама она, как уже отмечалось, воздействует на все остальное – и на темную массу, и на барионную форму материи. Космический вакуум не подчиняется уже известным физическим законам, в частности закону Ньютона, согласно которому действие равно противодействию. И вакуум, как основная часть мироздания, статичен и неизменен, причем он определяет в конечном счете свойства пространства и времени. Это означает, что мир, в котором господствует вакуум, должен быть неизменным во времени и однородным в пространстве, статичным, а все его четырехмерные точки (события) неразличимы. Это будет мир без информации, и это новый аналог тепловой смерти уже в «вакуумном» исполнении.

Ученые и философы еще в XX в. пытались доказать, что Вселенная не является статичной, стационарной и неменяющейся, что в ней не только совершается видимое механическое движение космических тел, но и происходят эволюционные процессы, идет усложнение при переходе на более высокий структурный уровень и рост многообразия форм и видов материи. Это действительно так и происходит, если иметь в виду нашу видимую Вселенную с ее барионной формой самосохранения и изменения материи, особенно на главной магистрали

глобальной эволюции. Появление же темной материи поставило вопрос о том, что подавляющая часть материи является неизменной либо малоподвижной (темная масса) и каким-то неведомым образом самосохраняется в некоторой особой форме, которую наука пока объяснить не в состоянии. Даже синергетика применима лишь для вещественной части Вселенной, где есть процессы самоорганизации и им противоположные. Но как самосохраняется антигравитирующая часть материи многие миллиарды лет (большая часть, видимо, еще с момента Большого взрыва), пока не ясно, поскольку там действуют неизвестные нам законы сохранения. Но когда это прояснится, современная научная картина мира настолько изменится, что в ней мало что останется от весьма общих и, казалось бы, незыблемых представлений сегодняшнего дня. Все это свидетельствует о том, что научная картина мира находится на пороге поистине революционных трансформаций. Дальнейшее исследование темной материи предвещает каскад не только новых научных открытий, но и существенных мировоззренческих инноваций, нарастание бифуркационного состояния во всей научной деятельности. Затронут ли они общепринятые научные понятия и философские категории, представление об их фундаментальности и изначальности? Ведь все они сформировались на базе изучения видимой Вселенной, которая изменяется и эволюционирует, а «темная часть» мироздания склонна к неизменности и стабильности.

Со времен античных мыслителей философы воедино связывали материю и движение, развитие. «Точно так же как нет движения без материи, – писал Гегель, – так не существует материи без движения». Сейчас же утверждается, что по крайней мере в темной энергии, то есть трех четвертях нашей Вселенной, материя существует, а каких-либо изменений и тем более эволюционных процессов там не наблюдается. Материя в темной стабильной форме существует, а эволюции, развития нет. Как происходит самосохранение трех четвертей материи без эволюции, не понятно; во всяком случае, в видимой Вселенной самосохранение материи происходило и происходит через движение, развитие, самоорганизацию и эволюцию. Признание абсолютной неизменности трех четвер-

тей мироздания тем самым ставит под сомнение положение диалектики о том, что движение – это атрибут материи.

Таким образом, представление об эволюции и глобальной эволюции в общенаучной картине мироздания в связи с открытием темных сторон Вселенной существенно трансформируется, формируется принципиально новое мировидение. Тот тип эволюции, который часто именовался универсальной эволюцией, оказывается не столь универсальным, как это совсем недавно считалось. Приходится отказываться от термина «универсальный» и отдавать предпочтение термину «глобальный». При этом глобальность мыслится лишь в ее «вещественной ипостаси», то есть имеется в виду, что рассматриваемый тип эволюции охватывает лишь относительно незначительную – «информационную» часть Вселенной. Вполне понятно, что этот тип эволюции не характерен для «темных оснований» пирамиды самосохранения материи во Вселенной, а тем более для совокупности подобных ей минивселенных.

Проблема познания темных форм материи. Данная проблема имеет свою специфику. Возьмем в качестве примера такую составляющую темной массы, как *черная дыра*, которая представляет собой замкнутую сферу, образовавшуюся в результате коллапса массивной звезды и в которой попавшее в нее вещество не может выйти даже в виде излучения из-за чудовищного сжатия (гравитационного притяжения). Таким образом, под черной дырой понимается область «пространства-времени», для которой вторая космическая скорость равна скорости света и гравитационное поле не выпускает даже фотоны. Пространственная граница черной дыры получила наименование горизонта событий, за пределами которого невозможно получение никакой информации о событиях и состояниях внутри черной дыры. Любое космическое тело, вещество и излучение способно проникать, падать в черную дыру, но не может ее покинуть. Короче говоря, познающий субъект не сможет получать информацию о внутреннем состоянии черной дыры, если будет находиться вне дыры. Тем более это относится к центральной части черной дыры – сингулярности как сверхплотному состоянию, где, как предполагается, не действуют известные

законы природы. Однако космическая материя, выпадающая на черную дыру, теряет не всю информацию, поскольку ее можно характеризовать с помощью массы, электрического заряда и собственного момента импульса. В дальнейшем могут обнаружиться и иные характеристики и свойства материи, из которой состоит черная дыра, если в ней действительно содержится информация. Следовательно, из чего бы ни образовалась черная дыра, внутри нее подавляющее большинство ранее имеющихся различий исчезают в сверхплотной гомогенной среде (10^8 т/см³).

Если внутренность черной дыры не поддается восприятию внешним наблюдателем, то само существование этого латентного космического объекта может быть обнаружено, в частности, в силу колоссальных гравитационных полей, представляющих мощные потенциальные источники энергии, которая в принципе может высвобождаться при попадании вещества на горизонт событий черной дыры. При этом выпадении (аккреции) вещества на черную дыру может излучаться очень большое количество энергии до того, как оно пересечет границу (горизонт событий) черной дыры (возможно наличие рентгеновского ореола вокруг нее). Конечно, если в окрестности черной дыры нет никакого вещества и излучения, то она останется не обнаруженной. Если в окрестности черной дыры имеется вещество и оно падает на черную дыру, то для внешнего наблюдателя создается эффект испускания излучения (как будто частицы вылетают из этого скрытого космического объекта). При попадании вещества звезд и облака газа в сверхмассивные черные дыры, их яркость окажется самой мощной в нашей Вселенной, поскольку в этом случае высвобождается огромное количество энергии (на два порядка больше, чем в ядерных реакциях). Такие сверхмассивные черные дыры с мощнейшей гравитацией могут служить «темными» (скрытыми) источниками энергии в ряде космических процессов с колоссальной энергоотдачей и гигантской светимостью (квазары, ядра активных галактик). Черная дыра с массой около трех миллионов солнечных масс, по видимому, находится в ядре нашей Галактики.

Имеет ли черная дыра за своим горизонтом событий какое-то информа-

ционное содержание? По мнению Гуревича, черная дыра содержит информацию, причем ее объем пропорционален квадрату ее массы. А если иметь в виду, что в ядрах почти всех галактик находятся сверхмассивные черные дыры, то объем информации во Вселенной находится в диапазоне 10^{99} – 10^{107} бит. Такое утверждение имеет смысл в предположении о существовании устойчивых неоднородностей и «скрытого разнообразия» внутри черных дыр. Однако неясно, как можно извлекать эту предполагаемую «черную информацию», поскольку никакие сигналы, испускаемые из внутренней части этого космического объекта, не выходят наружу. Получается, что в большей – «темной части» Вселенной, где нет эволюции, информация также либо отсутствует, либо она незначительна.

Вывод об отсутствии информации в большей части неживой космической природы имеет неожиданные эпистемологические последствия, то есть познание таких форм материи или невозможно, или существенно затруднено. Однако если о каком-либо материальном объекте вообще нет информации, то он в познании просто не должен существовать. Поэтому наличие знания о каком-то материальном объекте уже указывает на то, что он содержит информацию внутри себя или во «внешнем контуре», которая каким-то образом достигает познающего субъекта. Темная энергия обнаружена по тому признаку, что она воздействует на остальные формы материи и на какие-то конкретные материальные объекты. Это означает, что космический вакуум как целостное материальное образование обладает каким-то минимальным количеством информации, которая так или иначе «достигает» субъекта познания. Эта информация может содержаться во «внешнем контуре» космического вакуума, то есть некоторого целостного объекта, где целостность понимается не как «отгороженность» от других форм материи, а как совокупное воздействие на них со стороны темной материи.

Проблема познания темной материи и других скрытых экзотических сверхплотных космических объектов представляет собой специальную гносеологическую проблему, поскольку достоверность и надежность результатов

научного поиска оценивается по косвенным, побочным признакам влияния их на обычную светящуюся материю. Например, мы не знаем, как использовать синергетику и термодинамику для изучения темной энергии, поскольку для этого в прямом смысле не хватает информации. Однако в космологическом моделировании используются аналогии между физикой черных дыр и термодинамикой, а также между ними и теорией гравитации. Познавание космического вакуума затруднено еще и потому, что он не взаимодействует ни с чем, в том числе и с наблюдателем, хотя его влияние на вещество в масштабе Вселенной не просто имеет место, а является определяющим для будущего мироздания.

Процессы эволюции и связанные с ней информационные процессы играют важную роль не только в самой Вселенной, но и в ее познании человеком и человечеством в целом. Связь между Вселенной и ее свойствами нашла отражение в антропном космологическом принципе, который реализуется в видимой Вселенной. Этот принцип свидетельствует о наличии очень тонкой «подстройки» фундаментальных констант Вселенной и ее глобальных характеристик с возможностью перманентного протекания в ней эволюционных процессов, приводящих к формированию сложных форм вещества, а на определенном этапе – к появлению жизни и человека, способный познавать мироздание. Основная идея, какие бы формы этот принцип ни принимал, заключается в том, что человек и вещественная Вселенная предполагают свое взаимное существование, наличие человека «требует» соответствующего ему «космического дома» в форме Вселенной (которая теперь представляется как одна из локальных минивселенных Мультиверса). И наоборот: Вселенная должна быть такой, чтобы в ней мог появиться и существовать человек, который может познавать соответствующий ему мир. Между человеком, появившимся на определенном этапе эволюции вещественной Вселенной, и всеми ему предшествующими этапами, включая начальный этап рождения Вселенной, как бы существовала обратная связь, имеющая, скорее всего, информационную природу, что вытекает из принципа системно-темпоральной целостности. Человечество не желает исчезать как с лица Земли, так и из Вселенной; оно пытается продлить свое суще-

ствование в мироздании. Если же стихийное развитие человечества оказывается несовместимым с эволюцией природы, то возникает идея изменить форму развития, вписавшись в супермагистраль глобальной эволюции. Таков философско-мировоззренческий императив антропного принципа: человек должен присутствовать и действовать во Вселенной до тех пор, пока это возможно (неопределенно долго или желательно всегда).

Развитие химических представлений

Формула строения вещества является не только символическим выражением его состава, но вскрывает, хотя и несовершенным образом, внутреннюю природу материи, из которой построено данное вещество.

Я. Вант-Гофф

6.1. Основные понятия химии

Различные виды материи могут представлять собой химические элементы и их соединения, называемые веществами, которые имеют особое значение в разных областях естествознания. Для астрофизики интерес представляют вещества, из которых состоят звезды и другие небесные тела, а также находящиеся в межзвездном пространстве. Биология исследует вещества, содержащиеся в составе живых существ и принимающие активное участие в процессах жизнедеятельности организмов. В геологии главное внимание уделяется изучению веществ, из которых состоит планета Земля (минералы, полезные ископаемые и т.п.). Физика занимается исследованием физических свойств веществ как на макро-, так и на микроуровне с целью установления фундаментальных законов природы. Из всего этого следует, что четкую границу между химией и другими естественными науками провести весьма трудно. Тем не менее можно дать следующее определение. *Химия* – это наука о строении, структуре и свойствах веществ, а также реакциях, в которых одни вещества превращаются в другие.

В отличие от техники, в которой обычно используется понятие «материал», в химии первичным понятием считается «чистое вещество», а вторичными – смеси и растворы, которые могут быть гомогенными или гетерогенными.

Кроме того, любую материальную систему, состоящую из веществ, можно описывать, используя представления о фазах, из которых она образована. Фазой принято называть однородную часть системы, отделенную от других ее частей физическими границами (например, плавающий в сосуде лед; содержимое сосуда состоит из трех фаз – твердой, жидкой и газообразной). Существуют еще два понятия, такие как составная часть и компонент реакционной системы. Составные части – это различные ее фазы. Компоненты – это вещества, из которых можно образовать все фазы системы. При этом в разных химических системах соотношение числа фаз и компонентов может быть различным. Например, воздух, вода и лед – три фазы. Компонентом же в этом случае можно считать воду, так как газообразную и твердую фазы можно получить из одного и того же вещества – воды; это указывает на то, что в данном случае число компонентов меньше, чем число фаз. Другой пример – раствор сахара в воде, который состоит из одной фазы (именно раствора), но содержит два компонента – сахар и воду.

Вещества разделяют на простые и сложные (соединения). Вещество, которое нельзя разложить, называют либо элементарным, либо просто химическим элементом. Вещество, которое можно разложить на два или более веществ, является химическим соединением (вода, кислоты, соли и т.д.). Качества различных веществ характеризуются их физическими и химическими свойствами. Физические – это свойства, которые можно наблюдать и изучать, не превращая данное вещество в другое. Химические свойства определяют способность данного вещества участвовать в каких-либо химических реакциях, в связи с чем часто используется понятие «реакционная способность» вещества (или просто «реакционность»).

Одним из наиболее важных параметров химической реакции (который одновременно служит условием ее протекания) является температура. Эту величину можно определить по-разному, но исходя из ее физического смысла. Во-первых, температура является мерой интенсивности теплового движения молекул, из которых состоит тело. Во-вторых, температура – это свойство, ко-

торое определяет направление перехода тепловой энергии от одного объекта к другому (нагревание или охлаждение). При этом реакции, сопровождающиеся выделением тепловой энергии ($\Delta Q > 0$), называются экзотермическими; реакции, идущие с поглощением тепловой энергии ($\Delta Q < 0$), – эндотермическими. В-третьих, согласно второму закону термодинамики абсолютная температура есть производная тепловой энергии системы по ее энтропии: $T = dQ / dS$. Поэтому абсолютная температура всегда положительна и определяется в градусах Кельвина. Еще около двухсот лет тому назад было замечено, что при охлаждении определенного количества газа его объем закономерно (то есть по определенной зависимости) уменьшается. Из теоретической экстраполяции этой зависимости следовало, что при дальнейшем охлаждении газа его объем станет равным нулю при температуре минус 273,16 °С. Отсюда был сделан вывод, что такая температура должна быть минимальной в природе, то есть абсолютным нулем. В связи с этим английский физик *У. Томсон* (впоследствии лорд Кельвин) (1824–1907) предложил новую шкалу температур, ведущую отсчет от абсолютного нуля. Абсолютная шкала температур позволила в наиболее простой и удобной форме выразить все три закона термодинамики. Тем не менее часто и в научных исследованиях, и особенно в быту используют стоградусную температурную шкалу, которая была введена в 1742 г. шведским астрономом *А. Цельсиусом* (по ней точка замерзания воды 0 °С, точка кипения 100 °С). Кроме того, известны еще две температурные шкалы – *Реамюра* (°R) и *Фаренгейта* (°F): $1\text{ }^{\circ}\text{R} = 1,25^{\circ}\text{C}$; $1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9^{\circ}\text{C}$; $1\text{ K} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для измерения масс элементарных частиц, атомов и молекул принята *атомная единица массы* (а. е. м.), которая равна $1/12$ массы атома углерода, то есть

$$^{12}\text{C} : 1\text{ а. е. м.} = 1/12\text{ } m(^{12}\text{C}) = 1,9927 \cdot 10^{-26}\text{ кг} / 12 = 1,6606 \cdot 10^{-27}\text{ кг}.$$

Относительная атомная масса – масса атома, выраженная в а. е. м. За относительную атомную массу элемента принято среднее значение относительной атомной массы природной смеси его изотопов с учетом их содержания в земных условиях. Именно эти значения и приведены в Периодической системе

химических элементов Менделеева.

1 моль – такое количество вещества, в котором содержатся столько же структурных единиц (атомов, молекул, ионов, радикалов), сколько атомов содержится в $1/12$ кг изотопа углерода ^{12}C , а именно $6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$, которое имеет название «число Авогадро» (N_A).

Молярная масса вещества равна отношению массы этого вещества к его количеству, или молярная масса – это масса одного моля вещества, то есть масса $6,022 \cdot 10^{23}$ его структурных частиц.

6.2. Важнейшие задачи химии. Основы химических наук

Если объединить большинство проблем, стоящих перед химией, то можно сформулировать две основные задачи:

- 1) получение веществ с заданными химическими, физическими и механическими свойствами;
- 2) разработка методов или способов управления химическими процессами.

Развитие концепций химических знаний проходило в несколько этапов. Один из первых этапов связан с концепцией состава вещества, основоположником которой считается англичанин *Р. Бойль* (1627–1691). Ее главная идея заключается в том, что свойства и качества материальных тел зависят от того, из каких химических элементов они состоят. Логическим продолжением данной концепции явился закон постоянства состава вещества, суть которого в том, что в отличие от смесей и растворов любое индивидуальное химическое соединение обладает определенным и неизменным составом. Основой этого закона явились исследования *Ж.Л. Пруста* (1754–1826), *К.Л. Бертолле* (1748–1822) и *Дж. Дальтона* (1766–1844). В соответствии с этим вещество состоит из таких наименьших частиц, а именно молекул, которые и определяют его химические свойства. Однако необходимо иметь в виду, что концепция постоянства состава вещества относится только к низкомолекулярным соединениям, но не имеет четкого научного смысла для полимерных материалов в связи со спецификой

механизма их образования.

Основу энергетики химических превращений, которые изучает химическая термодинамика, составляют несколько законов термохимии. Один из них – это *закон Лавуазье – Лапласа*: тепловой эффект образования данного соединения равен, но противоположен по знаку тепловому эффекту его разложения. Другим является *закон Гесса*: тепловой эффект химической реакции не зависит от механизма процесса и последовательности отдельных его стадий и определяется только лишь свойствами исходных веществ и конечных продуктов реакции, а также их физическим состоянием.

Важным концептуальным понятием в химии является «*химическое равновесие*», которое представляет собой состояние системы реагирующих веществ, при котором их концентрации, давление, температура и другие ее параметры не изменяются. Химическое равновесие достигается в том случае, когда скорость прямой реакции становится равной скорости обратной реакции. С другой стороны, процесс изменения концентраций, вызванный нарушением равновесия, называется смещением или сдвигом равновесия. С химическим равновесием связаны *закон Вант-Гоффа* и *принцип Ле-Шателье*.

Закон Вант-Гоффа определяет направление, в котором смещается равновесие при изменении температуры: если температура системы, находящейся в равновесии, изменяется, то при повышении температуры равновесие смещается в сторону процесса, идущего с поглощением тепловой энергии, а при понижении – в обратную сторону. Принцип Ле-Шателье является более общим, так как относится к значительно большему типу равновесных систем. В приложении к химическим процессам его можно сформулировать следующим образом: при изменении одного из условий, при котором система находится в состоянии химического равновесия (температура, давление или концентрация) равновесие смещается в направлении той реакции, которая противодействует произведенному изменению.

К началу XIX в. накопилось много экспериментальных данных, которые касались реакционной способности разных химических соединений, но не мог-

ли быть объяснены с единых позиций. Одним из таких фактов явилось, например, установление (Гей-Люссак) существования разных (по своим химическим свойствам) органических веществ одного и того же состава (которые затем были названы изомерами). Для объяснения этого факта и вообще различной реакционности веществ *Й. Берцелиусом* было предложено рассматривать молекулу как упорядоченное множество разноименно заряженных ионов и радикалов, которые связаны между собой определенным образом, например электростатическим притяжением (в дальнейшем такая связь была названа ионной). Затем была высказана гипотеза о том, что молекула – это не простое суммарное множество атомов и радикалов, а единая и целостная система, главным свойством которой является взаимное влияние этих структурных элементов друг на друга. В середине XIX в. *Ф. Кекуле* были сформулированы основные положения теории валентности, которая позволила предсказывать существование новых органических соединений и разрабатывать методы их синтеза. Важнейшим достижением в развитии химических знаний явилось создание Периодической системы химических элементов. В ней все известные в то время элементы были расположены в определенном порядке: сначала – по мере возрастания атомной массы, а в дальнейшем (после открытия электрона и ядра атома) – по мере возрастания величины заряда ядра атома. Именно такая концепция позволила раскрыть физическую природу химического элемента, а именно то, что химический элемент представляет собой совокупность атомов, обладающих одинаковым зарядом ядра атома.

Однако, несмотря на явный прогресс в развитии химии, ни одна из перечисленных теорий и концепций не смогла дать строгое научное обоснование основной причины различной реакционной способности разных соединений. На этот важнейший вопрос дала ответ теория химического строения вещества, которую создал российский химик *А.М. Бутлеров* (1823–1886). В этой теории главное внимание было обращено не на пространственное расположение атомов в молекуле, а на распределение сил так называемого химического сродства между всеми атомами в молекуле (они были названы *химическими связями*).

Показано, что именно химические связи между атомами, обладающие определенной энергией и длиной, обуславливают разную реакционную способность веществ. Более того, такая концепция позволяет считать, что сама химическая реакция представляет собой перераспределение химических связей в реакционной системе (разрыв химических связей в молекулах исходных реагентов и образование новых химических связей в конечных продуктах). Кроме того, было установлено, что одна и та же химическая связь в зависимости от ее окружения (то есть другими атомами и связями), как правило, характеризуется разной прочностью, выражаемой величиной энергии связи. Например, энергия связи C–H в соединениях $\text{H}-\text{CH}_3$, $\text{H}-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, $\text{H}-\text{C}(\text{C}_6\text{H}_5)_3$ равна соответственно 410,335 и 70 кДж/моль.

В практическом отношении концепция химической связи позволила создать большое число методов синтеза различных веществ и материалов, а сама теория строения вещества Бутлерова явилась основой для создания нового раздела химии, а именно структурной химии. Основная концепция структурной химии состоит в том, что любое вещество состоит из совокупности молекул, обладающих определенной пространственной структурой. С позиций современного естествознания структура молекул низкомолекулярных соединений представляет собой строгую пространственно и энергетически упорядоченную квантовую систему, состоящую из атомных ядер и электронов. Вместе с тем как и концепция постоянства состава, так и структурная химия полимеров имеет свою специфику. Связана она не только с особенностями механизма их образования, но и с физико-химическими и механическими свойствами высокомолекулярных соединений. Это такие свойства, как статистический характер конфигураций полимерных цепей, высокая эластичность, вязкоупругие свойства, возможность их стереорегулярного строения, способность образования совместных полимеров, возможность их сшивания и получения блок-полимеров.

6.3. Концепции современной химии

Несмотря на безусловную научную ценность успешных результатов,

достигнутых в XVIII–XIX в., химические знания получили свое развитие на принципиально новом качественном уровне в XX столетии.

Закон действующих масс. Оказалось, что для научно обоснованного проведения синтеза различных материалов недостаточно знать состав и структуру исходных реагентов и предполагаемых конечных продуктов. Очень важно знать детальный механизм той или иной реакции, который может быть установлен только на основе нахождения зависимостей кинетических параметров процесса в целом и его отдельных стадий от условий протекания реакции (температуры, давления, природы реагентов, состава реакционной смеси, кислотности среды и т.п.).

Одним из основных положений химической кинетики является закон действующих масс, то есть степенная зависимость скорости реакции W от концентраций исходных веществ:

$$W = k \cdot C_1^{n_1} \cdot C_2^{n_2} \cdot \dots,$$

где C_1 , C_2 и т.д. – начальные концентрации исходных реагентов (компонентов); n_1 , n_2 и т.д. – кинетические порядки по компонентам (могут быть как целыми, так и дробными числами); k – коэффициент пропорциональности, который показывает, с какой скоростью протекает процесс при концентрациях реагирующих веществ, равных единице, и называется *константой скорости* химической реакции.

Кинетические порядки можно найти из логарифмической зависимости скорости реакции от концентрации компонента (угловой коэффициент прямой). Как и скорость, константа скорости в химической кинетике является одной из самых основных величин, в которой заложена наибольшая информация о реакционной способности реагентов и физико-химической специфике самой реакции. Это следует из уравнения Аррениуса для константы скорости:

$$k = A \times \exp(-E/RT),$$

где T – абсолютная температура реакции; R – газовая постоянная; E – энергия активации реакции (минимальная энергия, которой должны обладать частицы, чтобы они могли вступить в реакцию); A – предэкспонент (величина,

содержащая параметры, определяющие специфику участия молекул реагентов в реакции, например число столкновений между молекулами, стерический фактор и др.). В зависимости от типа реакции (моно-, би- или тримолекулярная) размерность константы скорости соответственно с^{-1} , $\text{л/моль} \times \text{с}$, $\text{л}^2/\text{моль}^2 \times \text{с}$. Значение энергии активации можно найти из зависимости логарифма константы скорости от величины, обратной температуре ($\ln k$ от $1/T$).

Начальные концентрации реагирующих веществ не зависят от температуры (то есть они постоянные величины), поэтому уравнение Аррениуса справедливо и для скорости реакции:

$$W = W_0 e^{-E/RT}, \text{ где } W_0 = AC_1^{n_1}C_2^{n_2}.$$

Продифференцировав это выражение по температуре, получаем:

$$d \ln W / dT = E / RT^2.$$

Последнее соотношение означает, что относительное увеличение скорости с ростом температуры характеризуется логарифмической производной скорости от температуры. Следовательно, чем больше энергия активации, тем быстрее растет скорость реакции при увеличении температуры.

Концепция свободных радикалов. В физике, химии, биологии, топливной промышленности, ракетной технике и космонавтике все более важное значение приобретают процессы, в которых принимают участие свободные радикалы. Впервые понятие «радикал» было введено в химическую терминологию французским ученым *А. Лавуазье* в 1789 г. для объяснения строения органических кислот. С открытием свободных радикалов и разработкой методов их исследования у естествоиспытателей появилась возможность изучать новую, химически лабильную форму существования вещества. В настоящее время известно, что свободные радикалы – это частицы с неспаренными спинами электронов, находящихся на граничных орбиталях, обладающие парамагнетизмом и высокой реакционной способностью (парамагнитными называются вещества, в которых возникает магнитный момент, параллельный внешнему магнитному полю). Свободные радикалы могут быть нейтральными или заряженными (ион-радикалы), короткоживущими (доли секунды) или долгоживущими (стабиль-

ными в течение нескольких лет) при $T = 298 \text{ K}$, твердыми, жидкими или газообразными телами. Обычные (то есть короткоживущие) радикалы могут существовать и значительно дольше, но только при весьма низких температурах, в инертных средах или в вакууме. К реакциям, в которых участвуют свободные радикалы, относятся горение и взрыв, термический крекинг и полимеризация, процессы окисления и стабилизации углеводородного топлива, смазочных масел, пластмасс и резин, окислительная деструкция пищевых продуктов и медикаментов, различные биохимические реакции. Данные о строении и реакционной способности радикалов получены при помощи таких современных физических методов, которые позволяют исследовать частицы, присутствующие в системе в концентрациях 10^{-8} – 10^{-10} моль/л и исчезающие через 10^{-3} – 10^{-5} с после своего образования. Началом широкого и разностороннего исследования радикально-цепных процессов можно считать выход в свет монографии *Н.Н. Семёнова* «Цепные реакции» (1934).

Особенно интересным было применение спектроскопических методов к исследованию свободных радикалов в газовой фазе. Однако довольно скоро было установлено, что полученные при использовании методов эмиссионной спектроскопии данные не позволяют точно установить, какие именно радикалы преобладают в реакционной зоне. Более перспективным при исследовании реальных систем оказался метод абсорбционной спектроскопии. Вместе с тем спектроскопические методы исследования не всегда отличаются хорошей чувствительностью, и для них характерна неоднозначность расшифровки сложных спектров, обусловленных присутствием не только радикалов, но и в гораздо больших количествах молекул исходных, промежуточных и конечных продуктов. Для определенных систем большое значение имеет применение масс-спектрометрического метода.

Наряду с разнообразными физическими методами исследования строения и свойств свободных радикалов в начале 1940-х годов начали применяться совершенно новые кинетические методы, основанные на детальном знании механизма химических процессов. Основой этих методов являлось то обстоятель-

ство, что такие кинетические характеристики химической системы, как порядок реакции по компоненту, энергия активации, стехиометрия действия инициаторов и (или) ингибиторов и т.п., позволяют оценить константы скоростей некоторых важных стадий сложного химического процесса.

Наиболее плодотворным оказалось внедрение в химию свободных радикалов метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), открытого *Е.К. Завойским* в 1944 г. Успех метода ЭПР в радикальной химии обусловлен тем, что в его основе лежит непосредственное изучение поведения неспаренного электрона, определяющего парамагнетизм свободного радикала. Одной из важнейших особенностей метода ЭПР, отличающих его от других спектроскопических методов, является то, что суммарная интенсивность линии поглощения (снятой при соблюдении определенных условий) позволяет непосредственно определять число поглощающих частиц в образце. Это означает, что спектроскопические коэффициенты поглощения для всех радикалов одинаковы. Метод ЭПР позволяет изучать магнитные характеристики парамагнитных частиц, что приводит к резкому повышению чувствительности, достигающей величины, равной 10^{-10} – 10^{-11} моль/л. Необходимо также отметить, что при изучении тонкой и особенно сверхтонкой структуры спектров ЭПР радикалов и атомов можно значительно более точно устанавливать истинную структуру многоатомных радикалов, специфику их геометрии, распределение плотности неспаренного электрона между различными группами сложного радикала, а в некоторых случаях даже получать сведения о взаимодействии радикалов с окружающей их средой.

Благодаря успехам органической химии в настоящее время стали доступны химически чистые свободные радикалы в качестве веществ, то есть стабильные на воздухе при комнатной температуре и нормальном давлении. Практически все они представляют собой ярко окрашенные твердые или жидкие тела. Стабильные радикалы применяются для интенсификации или замедления (подавления) химических процессов, в биофизических и в молекулярно-биологических исследованиях в качестве так называемых спиновых меток и

зондов, в судебно-медицинской диагностике, при изготовлении кино- и фото-материалов, в приборостроении, в решении важнейших экологических проблем. В качестве конкретных (и наиболее ярких) примеров использования стабильных радикалов можно привести следующие:

1. В процессах синтеза, очистки и хранения мономеров часто протекают спонтанные реакции, приводящие к образованию ненужных полимеров, которые, с одной стороны, загрязняют производственное оборудование, а с другой – приводят к значительным потерям мономеров. Известно также, что старение различных полимерных материалов часто обусловлено процессами их термо- и светодеструкции. Во всех этих случаях образуется большое количество отходов, требующих их переработки или утилизации. Стабильные радикалы, в частности иминоксильные (I) и арнитроксильные (II), оказались весьма эффективными ингибиторами спонтанных реакций полимеризации, а также стабилизаторами полимеров.

2. Свойства стабильных радикалов позволяют легко и быстро производить отбор, оценку и отбраковку кристаллов и минералов. Например, для оценки степени дефектности поверхности алмазов был предложен метод, основанный на использовании иминоксильных радикалов в качестве индикаторов, которые можно обнаруживать непосредственно в полости дефекта (метод ЭПР).

3. В нефтедобывающей промышленности стабильные радикалы нашли применение при контроле за обводнением нефтяных месторождений. Суть метода заключается в том, что раствор стабильного радикала вводят в нагнетающую скважину, а затем производят регулярный отбор пластовой жидкости (то есть нефти с водой). По уменьшению концентрации радикала, которая анализируется методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), определяют увеличение количества воды в месторождении нефти.

4. Некоторые иминоксильные радикалы являются фрагментами комплексных соединений, которые применяются в качестве индикаторов загрязнений окружающей среды (в частности, эти соединения изменяют свой цвет под воздействием радиоактивного излучения).

5. При исследовании биологических систем используют метод спиновых меток, который состоит в том, что стабильный радикал, ковалентно связанный с ферментом, полинуклеиновой кислотой или белком, играет роль своеобразного миниатюрного радиопередатчика, который непрерывно передает информацию о поведении молекулы биополимера. Из анализа ЭПР-спектров спин-меченых биомолекул можно установить структуру белка, природу активных центров ферментов и т.п. С этим связан и один из новых методов диагностики наркомании, который основан именно на количественном ЭПР-определении спин-меченого наркотика (например, морфина или героина), вытесняемого немеченым наркотиком из клетки.

6. В специальных исследованиях установлено, что некоторые стабильные радикалы обладают ярко выраженной антираковой активностью.

Цепные химические реакции. Как показано ранее, во многих химических превращениях активное участие принимают свободные радикалы, и в зависимости от типа реакции их свободная валентность может либо сохраняться, либо исчезать. Наиболее вероятными процессами оказываются взаимодействие свободных радикалов с молекулами исходных реагентов или растворителя, а также их изомеризация или распад. Как правило, в результате образуется новый свободный радикал, который, обладая высокой реакционной способностью, вновь вступает в те же реакции, образуя новый свободный радикал. Последовательность таких превращений будет продолжаться до тех пор, пока свободные радикалы на одной из стадий не встретятся друг с другом или не будут захвачены стенкой реактора (или молекулой ингибитора – I_n). Примером такой реакции является реакция термического распада (крекинга) этана.

Процессы, в которых превращение исходных веществ в конечные продукты происходит путем регулярного чередования нескольких элементарных реакций с участием свободных радикалов, называются цепными химическими реакциями. Сами же свободные радикалы в этих случаях являются активными центрами цепной реакции.

Теории цепных химических реакций различных типов (обычные, разветв-

ленные, вырожденно-разветвленные, с энергетическим разветвлением) были разработаны *Н.Н. Семеновым* (1896–1986). В общем случае цепная химическая реакция состоит из трех основных стадий – зарождения (инициирования), развития (продолжения) и обрыва (гибели) цепей. Зарождение цепи представляет собой образование свободных радикалов из валентно-насыщенных молекул, которое может происходить различными путями, в их числе: мономолекулярный распад исходных веществ, гетерогенное зарождение цепи на стенках реакционного сосуда, фото- или радиационно-химическое инициирование, введение специальных веществ – инициаторов (пероксиды, азонитрилы и т.д.).

Реакциями развития (или продолжения) цепи называются элементарные реакции цепного процесса, в которых сохраняется свободная валентность активных центров и которые сопровождаются расходом исходных реагентов и образованием конечных продуктов. Обычно стадия продолжения цепи состоит из двух или более элементарных реакций и может быть четырех типов: 1) реакция свободного радикала или атома с молекулой одного из исходных веществ, приводящая к образованию нового свободного радикала; 2) реакция свободного радикала или атома с молекулой одного из исходных веществ, приводящая к образованию молекулы конечного продукта и нового свободного радикала или атома; 3) мономолекулярное превращение одного свободного радикала цепи в другой; 4) мономолекулярный распад свободного радикала с образованием молекулы продукта реакции и нового свободного радикала или атома.

Обрывом цепи является стадия процесса, приводящая к гибели свободной валентности активного центра. Обрыв цепи может иметь линейный характер, когда скорость элементарных реакций обрыва цепи прямо пропорциональна концентрации свободных радикалов (гибель радикалов на стенках реакционного сосуда, взаимодействие с валентно-насыщенными молекулами, например на молекулах ингибитора). Часто происходит и «квадратичный» обрыв цепи, скорость которого пропорциональна произведению двух взаимодействующих радикалов.

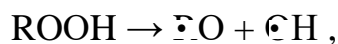
В дальнейшем Семеновым было показано, что в некоторых цепных про-

цессах наряду с элементарными реакциями продолжения цепи, происходят реакции, идущие с увеличением числа активных центров (атомов или радикалов разной химической природы). Например, в результате реакции окисления водорода вместо одной свободной валентности (у атома Н) образуются три свободные валентности: одна у гидроксила и две у атома кислорода, а последующая реакция атома кислорода с молекулой водорода приводит к образованию двух одновалентных частиц.

Таким образом, происходит возникновение двух новых активных центров, то есть одна цепь как бы разветвляется на три. В результате к *разветвлению цепей* приводит такая элементарная стадия цепного процесса, в которой превращение активных промежуточных продуктов сопровождается увеличением числа атомов и свободных радикалов разной химической природы. Такие цепные химические реакции являются *разветвленными цепными реакциям*, и было показано, что в этих случаях концентрация активных центров возрастает со временем по экспоненциальному закону. В работах Семенова развито научное направление, связанное с изучением процессов горения и взрыва, в котором дано четкое разграничение между двумя видами взрыва или двумя видами самовоспламенения (разветвленное цепное и тепловое). Если разветвление цепи преобладает над обрывом, то скорость реакции прогрессивно растет со временем и реакция заканчивается взрывом практически без тепловыделения (изотермический взрыв). Вместе с тем наряду с цепным воспламенением возможно и тепловое воспламенение, когда причина взрыва состоит в том, что выделяющееся в реакции тепло не успевает полностью отводиться в окружающую среду и резко возрастающая температура значительно увеличивает скорость химического процесса.

В дальнейшем были определены закономерности взрыва для реакций автокаталитического типа, установлены критерии теплового взрыва, то есть условия его возникновения и протекания в виде разных количественных соотношений между временем химической реакции и временем тепловой релаксации, рассмотрен тепловой взрыв для случая конвективной теплопередачи и т.д.

Кроме того, появление новых цепей возможно и при превращении стабильных продуктов цепной реакции, если они могут образовывать свободные радикалы легче, чем исходные вещества, например:



что приводит к дополнительному зарождению цепей. Реакции, включающие такое инициирование, являются вырожденно-разветвленными цепными реакциями. Их принципиальное отличие от разветвленных цепных реакций состоит в том, что новые цепи возникают в течение времени, значительно превышающего время существования цепи, тогда как при обычных разветвленных реакциях образование новых цепей происходит в ходе развития самой цепи. В частности, сравнительно медленное самоускорение, наблюдающееся в некоторых случаях при взрыве, Семенов объяснил существованием вырожденных разветвлений.

Наконец, Н.Н. Семенов с коллегами разработал строгие теории, описывающие роль стенки реакционного сосуда в процессах генерации активных центров (например, свободных радикалов) и в обрыве цепи (например, обратная пропорциональность скорости реакции обрыва квадрату диаметра реактора).

6.4. Некоторые особенности строения и свойств высокомолекулярных соединений, термодинамики и кинетики процессов образования

Процесс образования высокомолекулярного соединения прежде всего определяется термодинамической возможностью превращения мономера в полимер. Другим необходимым условием полимеризации низкомолекулярных веществ является наличие в них непредельных связей, гетероциклов и полифункциональных групп. Полимеризация является одним из типичных представителей цепных химических реакций, каждая из которых состоит из нескольких основных стадий – зарождения, развития (роста) и обрыва цепи. Тип цепной полимеризации определяется природой активных центров (промежуточных частиц), участвующих в каждой стадии процесса. Такими

центрами могут быть ионы (катионы или анионы) или свободные радикалы. В первом случае протекает ионная, а во втором – радикальная полимеризация.

При радикальной полимеризации происходит разрыв одной π -связи и образование двух σ -связей. Следовательно, тепловой эффект реакции можно найти из разности энергий диссоциации соответствующих связей:

$$\Delta H = 2E_{\sigma} - E_{\pi} - \text{экзотермическая реакция, так как } E_{\sigma} > E_{\pi}.$$

В частности, для многих мономеров винилового ряда ΔH равен примерно $80 + 10$ кДж/моль; его значение зависит от природы и положения химических связей и заместителей в основной цепи и их сопряжения (взаимовлияния).

Из концепций термодинамики известно, что любая химическая реакция протекает с уменьшением свободной энергии Гельмгольца F (в изохорно-изотермических условиях) или с уменьшением термодинамического потенциала Гиббса G (в изобарно-изотермических условиях системы):

$$\Delta F = (\Delta U - T\Delta S) < 0;$$

$$\Delta G = (\Delta H - T\Delta S) < 0.$$

Аналогичные изменения наблюдаются и при полимеризации, которая термодинамически возможна при условии $\Delta G < 0$. Так как образование полимера – экзотермический процесс, то $\Delta H < 0$. С другой стороны, с ростом молекулярной цепи свобода различных видов движения мономерных звеньев уменьшается, что приводит к возрастанию упорядоченности системы и уменьшению энтропии. Это означает, что $\Delta S < 0$, $-T\Delta S > 0$, а $|\Delta H| > |-T\Delta S|$. При полимеризации уменьшение энтропии связано в основном с заторможенностью поступательного (а не вращательного или колебательного) движения. Поэтому чем ниже температура, тем больше вероятность того, что $\Delta G < 0$ и полимеризация термодинамически возможна. При повышении температуры величина энтропийного члена возрастает и при некоторой $T_{\infty} = \Delta H / \Delta S$ (для каждого мономера она разная) ΔG может стать равным нулю. При дальнейшем увеличении температуры $\Delta G > 0$. Таким образом, при $T < T_{\infty}$ термодинамические препятствия для полимеризации отсутствуют, а при $T > T_{\infty}$

превращение мономера в полимер невозможно. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что такое условие является необходимым, но недостаточным, поскольку при вычислении термодинамического потенциала Гиббса нужно учитывать не только температуру, но и такие физико-химические факторы и процессы, как растворение, кристаллизация, комплексообразование, межмолекулярное взаимодействие полимера с мономером и растворителем, природу и концентрацию компонентов реакционной смеси.

В простейшем виде схему радикально-цепной полимеризации, которая начинается под действием специально введенного в реакционную среду вещества, называемого инициатором, можно представить следующим образом.

Зарождение цепи (или стадия инициирования) состоит из двух элементарных реакций – распада инициатора I (обычно на два радикала, называемых первичными) и присоединения первичных радикалов R_0 к молекуле мономера M с образованием нового радикала R_1 . Каждая из этих элементарных стадий происходит с определенной скоростью, а реакционная способность участвующих в них частиц характеризуется константами скоростей реакций распада инициатора $k_{рас}$ и инициирования полимеризации k_u . Следует отметить, что инициирование является самой трудной стадией (характеризуется наибольшей энергией активации), лимитирующей процесс полимеризации в целом.

Вторая стадия – развитие (или рост) цепи – представляет собой последовательность элементарных реакций присоединения активных радикалов $R_1, R_2, R_3, \dots R_{n-1}$ к молекулам мономера, в результате чего образуются также активные радикалы. Поэтому наряду с развитием кинетической цепи происходит рост молекулярной цепи, так как каждый последующий радикал больше предыдущего на одно звено – молекулу мономера. При этом каждая из элементарных реакций роста цепи характеризуется своей константой скорости $k_{p_1}, k_{p_2}, k_{p_3}$ и т.д.

Третья основная стадия – обрыв цепи обычно состоит либо из одной, либо из двух элементарных реакций взаимодействия полимерных радикалов друг с другом, приводящего к образованию одной ($П$) или двух ($П_1 + П_2$) молекул полимера. Естественно, что реакции обрыва протекают со значительно боль-

шими скоростями (по сравнению с инициированием и ростом цепи) и характеризуются в общем случае константой скорости реакции обрыва цепи k_0 .

Используя методы химической кинетики, можно получить общее выражение для скорости всего процесса W . Не вдаваясь в детали расчета, сделаем два вывода: во-первых, абсолютная скорость радикально-цепной полимеризации определяется скоростью реакции роста цепи; во-вторых, из расчетов следует, что при увеличении температуры скорость полимеризации всегда возрастает.

Важной величиной, характеризующей физико-химические и механические свойства макромолекул, является степень полимеризации P или молекулярная длина цепи. Ее можно вычислить по-разному: либо через отношение молекулярных масс молекул полимера и мономера, либо через отношение скоростей реакций роста и обрыва цепи. Из него следует, что степень полимеризации (или молекулярная длина цепи, а значит, и молекулярная масса полимера) всегда является среднестатистической величиной. Дело в том, что рост каждой из кинетических и сопровождающих их молекулярных цепей происходит до разной длины; соответственно этому и обрыв цепи происходит случайным образом. Следовательно, один и тот же полимер представляет собой набор молекул разной длины (размера), то есть молекулярная масса полимера имеет полидисперсный характер. В таком случае можно говорить только о средней молекулярной массе полимера, и именно поэтому концепция постоянства состава для высокомолекулярных соединений не имеет смысла.

Аналогично тому, как было получено выражение для эффективной энергии активации полимеризации, можно получить уравнение для эффективной энергии активации процесса образования полимера с молекулярной длиной цепи P :

$$E_P = E_p - 0,5E_o - 0,5E_u.$$

При обычных значениях энергий активации элементарных стадий полимеризации $E_P < 0$; поэтому при термическом и вещественном инициировании с повышением температуры полимеризации молекулярная масса полимера всегда

уменьшается.

По типу строения цепных молекул высокомолекулярные соединения классифицируются на линейные, разветвленные и сшитые (или сетчатые). Линейные полимеры представляют собой непрерывную последовательность однотипных групп атомов (M), вытянутую в одном направлении, то есть схематично в виде $-M-M-M-M-M-$. Типичными представителями линейных полимеров являются полиэтилен, полипропилен, политетрафторэтилен, поликапроамид («капрон»).

Если одна из функциональных групп (радикалов) заменяется на боковую цепь, то получается разветвленный полимер. Обычно такие разветвленные макромолекулы образуются, если в мономере присутствуют три или более функциональных групп; они могут быть нерегулярными структурами, а также в виде гребенок или звезд. Сетчатые полимеры имеют трехмерную пространственную структуру, образованную химическими связями. Одним из примеров таких макромолекул является натуральный каучук, представляющий собой (в результате процесса вулканизации с участием атомов серы) высокоэластичную сетку.

Для большинства макромолекул характерна *нерегулярность строения*. Однако при определенных условиях можно получить стереорегулярные полимеры, у которых все углеродные атомы обладают одинаковой пространственной конфигурацией: 1) изотактические полимеры (все заместители находятся либо вверху – l -форма, либо внизу – d -форма главной цепи) или 2) синдиотактические полимеры (макромолекулы построены с противоположной пространственной конфигурацией – чередование l - и d -форм).

Еще одним *важным свойством макромолекул* является их *гибкость*; причем механизм гибкости может быть различным. Основная причина гибкости полимеров заключается в возможности свободного вращения вокруг одинарных $C-C$ -связей. Благодаря симметрии распределения электронной плотности возможно вращение вокруг σ -связи без изменения интенсивности перекрывания электронных облаков, то есть без разрыва химической связи. Вокруг двойной связи $C=C$ вращение без разрыва химической связи невозможно. Следует заме-

тить, что у низкомолекулярных соединений свойство гибкости отсутствует, несмотря на возможность вращения атомных групп. Дело в том, что для длинной макромолекулы достаточно нескольких поворотов, чтобы полностью изменить направление цепи и реализовать конфигурации с разной степенью свернутости. Именно поэтому конфигурация полимерной молекулы – это такое взаимное расположение в пространстве ее звеньев, которое может быть изменено в результате обратимого внутреннего вращения без разрыва химических связей. При этом согласно второму закону термодинамики вследствие теплового движения достаточно длинная и гибкая макромолекула обычно свертывается в наиболее вероятное состояние с максимальной энтропией, то есть в так называемый статистический клубок. С другой стороны, самому маловероятному состоянию (с минимальной энтропией) соответствует полностью вытянутая (палочкообразная) макромолекула, то есть идеально жесткая цепь, в которой вращение невозможно. Наряду с этими структурами возможны и другие типы моделей макромолекул, имеющих совершенно другой характер гибкости цепи. В качестве примера можно привести макромолекулу ДНК, представляющую собой двойную спираль, в которой поворот одной из цепей ограничивается влиянием другой цепи.

Со свойством гибкости полимерных молекул связаны еще несколько понятий, а именно: *сегменты* (с помощью перемещения которых и происходит их тепловое движение), *высокоэластичность* и *текучесть макромолекул*. *Сегмент* – это статистически независимый отрезок цепи, положение которого в пространстве не зависит от остальных звеньев. Экспериментально длину сегмента определяют путем изучения термодинамических свойств растворов полимеров. Кроме длины сегмента, мерой гибкости полимерной цепи является также *среднеквадратичное расстояние между концами макромолекулы*. *Высокоэластичностью* называется способность тел к большим обратимым деформациям под влиянием относительно небольших нагрузок. С молекулярной точки зрения сущность высокоэластичной деформации заключается в распрямлении свернутых гибких цепей под влиянием приложенной нагрузки и возвращении их в

первоначальное свернутое состояние после снятия нагрузки. *Текучесть* – это способность к необратимому направленному перемещению макромолекул друг относительно друга без нарушения целостности тела.

7. Концепции естествознания в биологии

Законы жизни являются частью или следствием некоего общего закона, определяющего эволюцию материи в целом.

Ч. Дарвин

7.1. Общие свойства живых организмов.

Основные задачи современной биологии

На протяжении многих лет биология представлялась наукой о живом веществе (в том числе и о живых существах), которая изучала его возникновение, развитие и гибель. Начиная примерно с середины XX в. в результате определенных достижений эволюционной, молекулярной и генетической биологии стало ясно, что проблемы живых существ можно успешно решать на принципиально новом качественном уровне, то есть применяя междисциплинарный подход. В настоящее время биология превратилась в совокупность наук о живой природе, включая не только вопросы размножения и развития организмов, но, главным образом, проблемы их изменчивости и наследственности, обмена веществ и адаптации к изменяющимся условиям среды их обитания.

С позиций современного естествознания жизнь — это высшая форма движения материи, являющейся открытыми системами разного уровня организации. Они состоят как из низкомолекулярных соединений (вода, кислоты, минеральные соли, углеводы, простые жиры и т.д.), так и из биополимеров (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты и др.). Такие системы постоянно обмениваются с окружающей средой энергией, веществом и информацией и характеризуются процессами самовоспроизведения и саморегуляции.

Общие свойства живых существ, которые отличают их от тел неживой природы, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Организмы обладают сложной, но значительно более упорядоченной

структурой, что обусловлено постоянным притоком веществ и энергии.

2. Основой их способности к самовоспроизведению является наличие генетического кода.

3. Они активно реагируют на воздействие как абиотических, так и биотических экологических факторов окружающей среды.

4. Они обладают высокой степенью адаптации (приспособленности) к изменениям окружающей среды.

5. Для них характерна асимметрия структуры, которая проявляется не только на макроуровне, но и на молекулярном и надмолекулярном уровнях (молекулярная хиральность).

6. Организмы обладают способностью сохранять и передавать информацию как друг другу, так и внутри себя.

7. Биологические системы используют пищу как источник энергии и веществ, необходимых для обеспечения всех процессов жизнедеятельности. Основные группы органического мира высшего таксономического ранга различаются по способу добывания и переработки пищи. Почти все растения способны к осуществлению фотосинтеза, являющегося одной из форм *автотрофного* питания. Животные и грибы питаются иначе – они используют органическое вещество других организмов (гетеротрофное питание, более подробно см. главу 10).

8. Процесс, регулирующий способность к выведению из организма конечных и ненужных продуктов обмена веществ, называется экскрецией. В частности, животные потребляют большое количество белков, и, поскольку белки не запасаются, их необходимо расщеплять и выводить из организма. Поэтому у животных наблюдается выделение в основном азотистых веществ.

9. Еще одним свойством живой материи является дискретность, поскольку любая биологическая система состоит из отдельных частей, которые тесно взаимодействуют между собой, образуя структурно-функциональное единство.

Кроме того, при общей видимой аналогии существует глубокое различие между ростом живого и неживого объекта. Объекты неживой природы (кри-

сталлы, сталагмиты и т.п.) растут, присоединяя новое вещество к наружной поверхности. Живые системы растут «изнутри» за счет питательных веществ, которые система получает в процессе автотрофного или гетеротрофного питания. В результате ассимиляции этих веществ образуется новая живая протоплазма.

Основными задачами современной биологии являются:

- 1) изучение закономерностей строения, структуры, свойств, развития и функций клетки, тканей и отдельных живых существ, в том числе и человека;
- 2) исследование особенностей организации жизни популяций, видов, биоценозов и экосистем;
- 3) установление механизмов процессов обмена веществ и передачи наследственной информации;
- 4) исследование закономерностей эволюции живых организмов;
- 5) разработка современных физико-химических методов исследования, применение математического и физического моделирования, а также новых информационных технологий в молекулярной, эволюционной, генетической и космической биологии.

7.2. Структурные уровни организации живой материи

Наиболее простая система предусматривает выделение следующих уровней организации живой материи.

1. *Молекулярный.* Любая живая система, как бы сложно она ни была организована, состоит из низкомолекулярных веществ (неорганических и органических), а также из биологических макромолекул (белков, полисахаридов и нуклеиновых кислот). На этом уровне начинаются и происходят основные процессы жизнедеятельности, в том числе обмен веществ и передача наследственных признаков и особенностей.

2. *Клеточный.* Биологическая клетка как элементарная частица живой материи представляет собой наиболее простую форму существования живых существ. Именно поэтому основные результаты биохимических исследований были получены при изучении клеток и одноклеточных организмов. Биологиче-

ская клетка – это упорядоченный структурно-функциональный комплекс, состоящий в основном из белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов; такой комплекс способен самостоятельно существовать, размножаться и активно реагировать на раздражители внешней среды (то есть на абиотические и биотические экологические факторы). Клетки, содержащие ядра, образуют основу всех высших растений, грибов и животных (в том числе и человека). Доказано, что живые системы, в отличие от обычных веществ и материалов (то есть тел неживой природы), значительно более активно сопротивляются негативному (часто разрушительному) воздействию окружающей среды и в то же время используют ее для своего развития. Биологическими клетками осуществляется поглощение и превращение питательных веществ, аккумуляция и использование энергии, хранение и передача наследственной информации. При этом все внутриклеточные структуры и выполняемые ими функции органически взаимосвязаны, а биохимические (ферментативные) реакции осуществляются в специально организованных молекулярных структурах. Если бы клетка утратила способность выполнять хотя бы одну жизненно важную биохимическую функцию, то она перестала бы существовать. В ней, как в хорошо отлаженном механизме, нет ничего лишнего. Эта элементарная частица живой материи обладает всеми функциональными свойствами, которые присущи самым сложным многоклеточным организмам. Это такие свойства, как размножение, рост, метаболизм (обмен веществ), развитие, наследственность, болезни, старение и неизбежность гибели. Для всех этих свойств характерна так называемая обратная связь, которая проявляется в двух взаимосвязанных процессах. Во-первых, живые клетки потребляют вещества и энергию из окружающей ее среды; во-вторых, они возвращают в нее определенные количества переработанных веществ и энергии, то есть в виде отходов жизнедеятельности. Это, в свою очередь, означает, что открытые системы поддерживают и даже часто повышают свою упорядоченность, но одновременно вносят определенный беспорядок в окружающую среду. Именно таким образом биологические системы активно участвуют в процессах эволюции Земли и являются мощным фактором формирования ее

отдельных компонентов (например, ландшафтов, минералов, полезных ископаемых). Вместе с тем по внутренним и внешним признакам и особенностям клетки разделяют на два класса: 1) прокариотические, которые не имеют ядер и некоторых других структурных элементов, они характерны для бактерий и сине-зеленых водорослей; 2) эукариотические, которые образовались в результате деления единственной оплодотворенной клетки (зиготы), из них построены высшие растения и животные. Возникшие таким путем новые клетки преобразовывались в ткани и органы эмбриона, который рос и развивался в результате продолжающихся размножения и деления клеток вплоть до образования взрослого организма. Самым главным в этих сложных процессах является абсолютно строгая координация всех их стадий по определенной генетической программе многоклеточного организма.

3. *Организменный.* Элементарной единицей этого уровня является отдельный организм, то есть особь. Он состоит из систем органов (как бы подуровней), каждая из которых выполняет конкретные функции, обеспечивающие жизнедеятельность всего организма как единой биологической системы. Многообразие организмов на Земле вызывает необходимость их классификации, основной задачей которой является объективное объединение представителей органического мира в группы (таксоны) на основе анализа различных признаков и особенностей. Известны два типа классификации – искусственная (условная) и естественная. В основе первой лежат, как правило, результаты визуального наблюдения. Она применяется при решении специфических задач (классификация по среде обитания, окраске, способности передвижения и т.д.). Такой подход часто используется при систематизации живых существ по ископаемым останкам. Более научно обоснованной является естественная классификация, которая может иметь фенотипический или филогенетический характер в зависимости от положенного в ее основу критерия. Фенотипическая классификация включает данные о морфологическом, цитологическом и биохимическом сходствах, но не учитывает эволюционных связей между организмами. Наиболее часто используется филогенетическая классификация для описания эволю-

ционных взаимоотношений организмов. В ее основе лежат различия в происхождении и наследовании организмами признаков в процессе эволюции. При этом обычно полагают, что относящиеся к одному таксону живые существа имели общего предка, то есть сходство характеризующих их особенностей обусловлено родством. Графически эти зависимости можно выразить родословным древом, называемым кладограммой. Вместе с тем между всеми известными таксонами существует определенная иерархия (соподчиненность).

4. *Популяционно-видовой*. Этот уровень объединяет популяции и виды и представляет собой совокупности организмов, обитающих совместно и обладающих общим генофондом. Именно на этом уровне начинаются и происходят элементарные процессы эволюции живой природы.

5. *Биогеоценотический (или экосистемный)*. Основой этого уровня является биогеоценоз (или экосистема), то есть совокупность организмов разных видов, объединенных общим местом обитания (биотопом) и однородными физико-химическими условиями (экологической нишей).

6. *Биомный*. Уровень живой природы, объединяющий экосистемы, находящиеся в одной природно-ландшафтной зоне (тундра, тайга, пустыня, степь, джунгли).

7. *Биосферный*. Это глобальная экосистема, представляющая собой совокупность биомов и ту часть Земли, где существует жизнь. На этом уровне осуществляются геологический и биотический круговороты веществ и трансформация энергии.

Каждый из перечисленных уровней организации живой материи специфичен, имеет свои закономерности и в то же время подчиняется закономерностям других уровней.

Элементарной частицей живой материи, которая представляет собой наиболее простую форму существования живых существ, является клетка.

Все клетки в организме взаимосвязаны. Существуют несколько основных механизмов их взаимодействия:

1. Непосредственно соседствующие в тканях клетки связаны каналами,

что обеспечивает быстрое и интенсивное перемещение веществ.

2. Клетки способны к обмену сигналами путем синтеза и распространения определенных веществ. Различают вещества «ближнего» и «дальнего» действия. Первые ограничивают свое действие в непосредственно прилежащих частях ткани. Вторые могут достигать самых удаленных клеток организма, влияя на их функции. К ним относятся, например, гормоны – продукты деятельности желез внутренней секреции. На конкретный гормон реагируют клетки, в плазматической мембране которых имеются соответствующие рецепторы, способные связываться с молекулами гормона. В свою очередь синтез гормонов регулируется сигналами о состоянии организма, поступающими от всех рецепторов в промежуточный мозг и далее в центральную железу внутренней секреции (гипофиз). Такая система известна у позвоночных животных и высокоразвитых беспозвоночных – моллюсков, членистоногих и других.

3. Особое положение в системе взаимодействия клеток занимают нервные клетки. Они координируют деятельность всех частей организма и обеспечивают взаимодействие организма с внешней средой. Нервные клетки передают друг другу сигналы двумя путями: 1) путем прямого электрического взаимодействия через специальные клеточные контакты; 2) с помощью так называемых медиаторов – специальных веществ, вырабатываемых нервными и рецепторными клетками, осуществляющих функцию посредников при передаче сигнала.

Механизмы взаимодействия клеток обеспечивают контроль за интенсивностью процесса синтеза белков и за количественными показателями процесса клеточного деления. У клеток одних тканей деление происходит быстрее, других – медленнее. В процессе онтогенеза многие клетки постепенно специализируются и перестают делиться. Во взрослом организме деление клеток происходит лишь в немногих обновляющихся тканях, например в кроветворной, эпидермальной, лимфоидной.

На клеточном уровне применяют различные общие и специфические методы исследования. Некоторые частные методы изучения клеток: *метод диф-*

ференциального центрифугирования, применяемый для расслоения органелл и детального исследования; *метод меченых атомов*, который эффективен при изучении происходящих в клетке биохимических процессов; *флуоресцентная микроскопия* – наблюдение за живыми клетками в ультрафиолетовом свете. Под действием ультрафиолетового излучения многие компоненты клеток начинают светиться, причем у одних это свойство проявляется естественно, у других – при каких-либо дополнительных воздействиях, например при добавлении специальных красителей. С помощью этого метода можно выявить участки концентрации жиров, нуклеиновых кислот, витаминов и других содержащихся в клетке веществ.

7.3. Концепция эволюции живой природы

Одним из первых этапов развития биологии считается традиционная биология, объектом описания которой являлась живая природа, а научные знания о ней имели описательный характер и были связаны с идентификацией и классификацией различных видов растений и животных. Первоначальная классификация (основные принципы которой актуальны и в настоящее время) была создана в середине XVIII в. в работах шведского исследователя К. Линнея (1707–1778); в ней растения и животные были объединены в группы по одному определенному признаку. Затем была введена так называемая бинарная номенклатура, характеризующая род и вид живого существа (в основном это исследования французского ботаника М. Адансона (1727–1806)). Дальнейшая классификация была продолжена по сходству уже максимального числа признаков, логическим следствием которой явились принципы генеалогического родства и преемственности происхождения различных видов флоры и фауны. Несмотря на описательный характер этого этапа развития биологических знаний, его значение состоит в том, что были заложены основы перехода биологической науки на более высокий уровень познания молекулярных и надмолекулярных структур (из которых состоят живые организмы), и главное – эти результаты явились также основой для понимания единства и целостности мира живых существ (а

это – одна из основных концепций современного естествознания).

Важнейшим разделом современной биологии является эволюционная биология, фундамент которой был заложен работами французского биолога *Ж.Б. Ламарка* (1744–1829), затем она получила развитие в трудах английского естествоиспытателя *Чарльза Дарвина* (1809–1882) и уже в XX в. – в исследованиях молекулярной и генетической биологии. Было показано, что основой возникновения новых признаков и особенностей в свойствах, строении и функциях организмов является *изменчивость* того или иного вида. Универсальность и уникальность этого фактора заключается в абсолютной непохожести живых организмов даже одного и того же вида, что в конечном счете проявляется в поведении живых существ в окружающей их среде. В природе встречаются два типа изменчивости, каждый из которых зависит от вероятностных и случайных факторов. Определенная (или индивидуальная) изменчивость обусловлена передачей признаков и особенностей через механизм наследственности. Неопределенная (или групповая) изменчивость связана с изменениями в организме, возникающими под влиянием на него разных условий окружающей среды. Другой фактор эволюции живой природы – *наследственность* – закрепляет уже имеющиеся признаки и особенности, а также приобретенные в процессе жизнедеятельности. Третьим основным фактором биологической эволюции является *естественный отбор*, который оказался самым сильным фактором. Обусловлено это тем, что естественный отбор способствует устранению из природной среды тех организмов, которые плохо адаптируются к изменяющимся (особенно к неблагоприятным) условиям их существования. Установлено, что в природе существует специальный механизм отбора, который приводит к определенному прогрессу в эволюции живых существ. Такой прогресс обусловлен следующими тенденциями, которые характеризуют концепцию естественного отбора как одну из главных движущих сил биологической эволюции:

- 1) число рожденных организмов любой популяции или вида всегда больше того количества, которое может выжить (по разным причинам – пища, заболевания и т.п.); тем не менее численность популяции или вида в определенных

условиях их существования (то есть в пределах их экологической ниши) практически постоянна;

2) так как рождается особей больше, чем могут выжить, то постоянно происходит конкуренция за жизненно необходимые условия (за пищу, за место обитания, за самку или самца и т.д.), то есть борьба за существование;

3) преимущество одних организмов перед другими обусловлено способностью выживающих организмов приспосабливаться к изменениям в окружающей природной среде, то есть их адаптационными свойствами;

4) живые существа, прошедшие естественный отбор, дают потомства, которые обладают лучшими свойствами и качествами по сравнению с предшествующим поколением.

Теория Ламарка относится к динамическим закономерностям естествознания, а теория Дарвина – к статистическим. Связано это с тем, что у Ламарка одним из самых важных факторов эволюции органических форм (в том числе и живых существ) является время, а переход от низших форм (видов) к высшим – обязательный (то есть независимый) процесс, который происходит под влиянием специальных продолжительных упражнений, приводящих к новым привычкам, наследуемым затем последующими поколениями. В учении Дарвина изменчивость, наследственность и естественный отбор непосредственно не связаны между собой. Важнейшим фактором эволюции признается *естественный отбор*, обусловленный статистическими закономерностями.

Вместе с тем необходимо иметь в виду, что в современной эволюционной биологии изменчивость, наследственность и естественный отбор рассматриваются на более высоком качественном уровне, а именно: основное внимание уделяется механизму действия этих факторов. Например, установлено, что важнейшими процессами, которые обуславливают изменения в генофонде популяции, являются процессы мутации. Эти процессы, возникающие как случайно, так и под влиянием внешних факторов среды, могут иметь необратимый характер и даже явиться причиной образования нового биологического вида. Такое положение ни в коем случае не означает уменьшения роли естественного

отбора, так как процессы мутации в организмах и естественный отбор взаимосвязаны и взаимозависимы. Кроме того, в отличие от теории Дарвина (в которой основной структурной единицей живой природы является особь) в современной эволюционной биологии (ее обычно называют синтетической теорией эволюции) основной структурной единицей считается популяция.

Подобно естественному отбору сама биологическая эволюция как долговременный процесс также характеризуется определенными тенденциями, в частности тенденцией временного ускорения, которая экспериментально подтверждается данными о происхождении организмов разного уровня. Так, происхождение первых живых существ, то есть простейших (одноклеточных) произошло примерно 3,5 млрд лет тому назад, многоклеточных – 2,5 млрд лет, растений и животных – 400 млн лет, птиц и млекопитающих – 100 млн лет, человека – 60 тыс. лет тому назад. Другая тенденция связана с тем, что в разные исторические периоды эволюция различных популяций и видов происходила с разной скоростью. Например, в настоящее время она протекает более быстро, что связано с влиянием абиотических и биотических экологических факторов на свойства природной среды и вообще с развитием процессов цивилизации. При этом появление нового вида происходит быстрее, чем последующих, то есть со временем эволюция популяции замедляется. Кроме того, новые виды, как правило, образуются не из наиболее развитых, а из относительно простых.

Для развития биологических знаний особое значение имеет *концепция иерархии структурных уровней живой природы*. Такая иерархия организации материи начинается с элементарных частиц, включает атомы, молекулы и надмолекулярные структуры (клетки, ткани, биологические жидкости), продолжается организмами, популяциями, биоценозами и биогеоценозами и заканчивается глобальной экологической системой – биосферой. При этом концепция структурных уровней живой материи основана на принципах ее системности, дискретности и, вместе с тем, ее целостности, то есть каждый предыдущий уровень входит в последующий, а самый низкий по своему развитию уровень содержится в самом высоком. Одним из примеров такой иерархии является до-

вольно четкая зависимость характерных размеров различных структур от времени их жизни, а именно: чем больше размер, тем дольше они живут (атомы, молекулы... организмы, популяции... экосистемы).

Наряду с естественным отбором еще одной движущей силой эволюции живых существ является *биохимическая эволюция*, которая обусловлена изменениями механизмов химических реакций, протекающих в биологических системах. С биохимической эволюцией тесно связана проблема случайного или закономерного происхождения жизни на Земле. Некоторые считают возникновение жизни случайным событием. Однако большинство исследователей не поддерживают такую точку зрения. В пользу *концепции закономерного происхождения жизни* свидетельствуют, по крайней мере, следующие данные.

Во-первых, установлены структура и функции живого вещества; во-вторых, доказано, что развитие живого вещества подчиняется определенным физико-химическим законам; в-третьих, многие экспериментальные факты указывают на строго направленный характер развития природы. На основе этих и других данных был сделан вывод, что переход от неорганических соединений к органическим (то есть переход от неживого к живому) условно состоит из трех этапов:

1) синтез исходных органических соединений из неорганических в условиях так называемой ранней Земли (то есть первичных состояний ее атмосферы и поверхности);

2) формирование в первичных водоемах Земли углеводов и биополимеров из накопившихся в них органических соединений;

3) наиболее сложный процесс, включающий такие стадии, как:

- самоорганизация более сложных органических соединений;
- возникновение на их основе процесса обмена веществ;
- воспроизводство органических структур определенного состава;
- образование простейшей клетки.

Более подробно проблема происхождения жизни рассмотрена далее.

Кроме того, экспериментально установлено, что физико-химическая ос-

нова перечисленных стадий завершающего этапа возникновения жизни у всех земных организмов одна и та же; все жизненно важные процессы происходят при непосредственном участии растительных и животных полимерных молекул (биополимеров); низкомолекулярные вещества (вода, минеральные соли, простые жиры, углеводы и т.д.) являются той средой, на фоне которой осуществляют свои функции биополимеры. Наиболее важными из них являются белки, полисахариды и полинуклеиновые кислоты, каждая из которых обладает особенностями, характерными для высокомолекулярных соединений.

7.4. Концепция биополимеров

Многие молекулярно-биологические процессы обусловлены такими свойствами макромолекул, как их цепное строение, гибкость и другие. Вместе с тем принципиальную роль играют особенности строения и своеобразная иерархическая структура биополимеров. В общем случае, то есть для всех биополимеров, характерны четыре уровня структурной организации макромолекул. *Первичная структура* – это последовательность различных звеньев (то есть участков цепи), формирующаяся при биосинтезе, включая поперечные сшивки внутри цепей и между ними. *Вторичная структура* определяется типом пространственного расположения элементов цепи. Обычно это так называемый ближний порядок, который представляет собой или упорядоченное спиральное расположение звеньев (α -спирали), или образование в форме мелких складок (β -слои). Кроме того, биополимерная цепь как целое может иметь трехмерную или *третичную структуру*, определяемую дальним порядком (глобула) или беспорядком (клубок) в расположении звеньев. При этом вторичная и третичная структуры обусловлены взаимодействиями звеньев, характер которых в основном связан с наличием в них зарядов. Например, в свернутых глобулах неполярные белковые группы стремятся оказаться внутри молекулы, а боковые группы полярных остатков – снаружи. Иногда важное значение имеет *четвертичная структура*, под которой понимают расположение отдельных единиц третичной структуры внутри комплекса, состоящего из нескольких цепей.

Например, такой структурой обладает гемоглобин, состоящий из четырех белковых макромолекул, с каждой из которых связан *гем* (железопорфириновый комплекс).

Рассмотрим более конкретно некоторые особенности важнейших биополимеров.

Макромолекулы *белков* (или полипептидов) образуются в реакции совместной полимеризации аминокислот и поэтому являются биологическими сополимерами. Все белки в химическом отношении однотипны. Макромолекула любого белка имеет основную цепь из одинаковых пептидных групп, к каждой из которых присоединен боковой радикал, образующий вместе с пептидной группой аминокислотный остаток.

Белки содержат двадцать видов аминокислот, имеющих общую структурную формулу. Набор остатков этих аминокислот и порядок их расположения и определяют *первичную структуру* белка. Аминокислоты соединяются друг с другом ковалентной или пептидной связью (C–N). Образование ее происходит за счет аминогруппы ($-\text{NH}_2$) одной аминокислоты и карбоксильной группы ($-\text{COOH}$) другой с выделением молекулы воды. Любая живая клетка содержит тысячи различных белков, каждый из которых выполняет свойственные только ему функции.

Пептидная связь достаточно жесткая, и ее конформационная подвижность ограничена. Однако в каждом аминокислотном звене есть α -углеродный атом, обеспечивающий присутствие в этом звене двух одинарных связей, вокруг которых возможно вращение. Полная аминокислотная последовательность в белках обычно записывается в виде сокращенных обозначений аминокислот. Значения молекулярной массы белков обычно находятся в диапазоне от 10^3 до 10^5 . Отсюда и многообразие свойств белков, которое обусловлено как различием их состава, так и разнообразием их структуры, поскольку (как уже было отмечено) внутри одной макромолекулы возможно огромное число сочетаний ее конфигураций. Самый низкомолекулярный белок – это гормон инсулин, который состоит из 51 аминокислотного остатка. Для полимерной молекулы белка, по-

строенной из двадцати различных аминокислот, с молекулярной массой 2500, число возможных изомеров (конфигураций) порядка 10^{18} , а для белка с молекулярной массой 120 000 число изомеров составляет 10^{1268} .

Одной из основных особенностей молекул белков является их способность спонтанно сворачиваться в пространственные структуры, которые обычно называют вторичными и третичными.

Вторичная структура макромолекулы белка более сложная: а) одна часть аминокислотных остатков располагается друг относительно друга более или менее упорядоченно по спирали; б) другая их часть расположена в беспорядке, но объединяясь между собой в форме клубка, причем обе части (и спиральная, и клубкообразная) чередуются вполне закономерным образом. Например, в зависимости от природы белка (в мышце, в крови, в молоке и в других надмолекулярных структурах) возможно преобладание либо спиралеобразных, либо клубкообразных цепей. Поэтому в большинстве случаев наблюдается такое сочетание вторичных структур, образующих *третичную структуру* белка, в которой превалируют либо волокнистое, либо глобулярное строение. Волокнистые белки выполняют в основном механические и строительные функции (в волосах, ногтях, перьях и т.п.). Глобулярные белки, многие из которых находятся в организме в растворенном состоянии, имеют значительно больше функций (гемоглобин, инсулин и др.). Стабильность третичной структуры белка обусловлена наличием большого числа водородных связей между пептидными группировками и функциональными группами аминокислотных остатков.

Кроме того, экспериментальные данные, полученные в последние годы, указывают на то, что макромолекулы, в состав которых входят несколько полипептидных цепей (субструктур), ковалентно не связанных между собой, имеют четвертичную структуру. Последняя в отличие от вторичной и третичной структур характеризуется более четкой стехиометрией.

Итак, в настоящее время классификацию белков проводят по таким факторам, как форма макромолекул, физические свойства, биохимические функции, растворимость (в основном в воде и слабых солевых растворах) и молеку-

лярный состав. Большинство белков обладают гидрофильностью, то есть хорошо растворимы в водных средах с образованием коллоидных растворов (размер частиц 4–100 нм). Измерив интенсивность светорассеяния через такой коллоидный раствор, можно рассчитать молекулярную массу чистого белка. Но наиболее надежные результаты по определению молекулярной массы белка дает метод ультрацентрифугирования.

По составу белки обычно разделяют на простые и сложные. Простые, или протеины, – это полипептиды (альбумины, глобулины, гистоны, протамины, глутелины, проламины, склеропотеины), при полном гидролизе которых образуются только аминокислоты. Сложные, или протеиды, – это такие как гликопротеиды, фосфопотеиды, хромопротеиды, липопотеиды, при гидролизе которых кроме свободных аминокислот образуются вещества иной природы.

Наиболее распространенными методами определения структуры белков считаются рентгеноструктурный анализ и метод спиновых меток, использование которых в сочетании с ЭВМ и методом электронного парамагнитного резонанса позволило расшифровать большинство натуральных белков.

Кислотно-основные свойства белков определяются главным образом боковыми радикалами аминокислот, способными к ионизации. Величины констант диссоциации боковых радикалов свободных аминокислот несколько отличаются от таковых в составе белков, поскольку степень ионизации групп в белках зависит от природы соседних групп, то есть от электростатического окружения. Большинство природных белков относится к кислым белкам и поэтому при pH, близких к нейтральным, имеет в целом отрицательный заряд.

Белки активно участвуют практически во всех жизненно важных процессах, протекающих в организмах. К наиболее важным функциям белков следует отнести каталитическую (биокатализаторы ферментативных реакций), питательную (источники N, P, S, L- α -аминокислот, витаминов и микроэлементов), транспортную (перенос кислорода, диоксида углерода, жирных кислот и витаминов, ионов металлов и аминокислот, гормонов и конечных продуктов обмена веществ), защитную (например, в системе свертывания крови, антитела иммун-

ной системы, система белковых антиоксидантов, покровные ткани тела), сократительную (мышечные ткани), структурную (клеточные элементы), гормональную. Все это позволяет сделать вывод о том, что белковые макромолекулы отвечают за обменные процессы в организме. Главное назначение обмена веществ состоит в поддержании определенного уровня упорядоченности в организме и его частях. Эта задача, с одной стороны, решается путем переработки в организме определенных веществ, что приводит к синтезу необходимых для жизнедеятельности соединений. С другой стороны, обмен веществ выводит из организма все то, что ему не нужно и что не может быть вторично переработано и использовано (то есть утилизировано) в самом организме. Следовательно, обмен веществ представляет собой огромное число биохимических реакций, приводящих к образованию и расщеплению белковых тел, причем все это происходит строго направленно, экономно и надежно.

Еще одним аспектом классификации белков является разделение всех L- α -аминокислот на заменимые и незаменимые (табл. 7.1).

Незаменимые аминокислоты должны обязательно входить в белковые макромолекулы пищевого рациона человека, но в отличие от заменимых они не могут образовываться в организме животных и человека. Если в потребляемом пищевом белке имеются все незаменимые аминокислоты в необходимых количествах и все они после переваривания (гидролиза) в желудочно-кишечном тракте полностью усваиваются, то биологическая ценность такого белка условно принимается за 100, а рацион, в котором отсутствует хотя бы одна аминокислота, вообще не имеет биологической ценности. При этом реальный минимум потребления белка человеком практически вдвое превышает его теоретическую величину.

Таблица 7.1

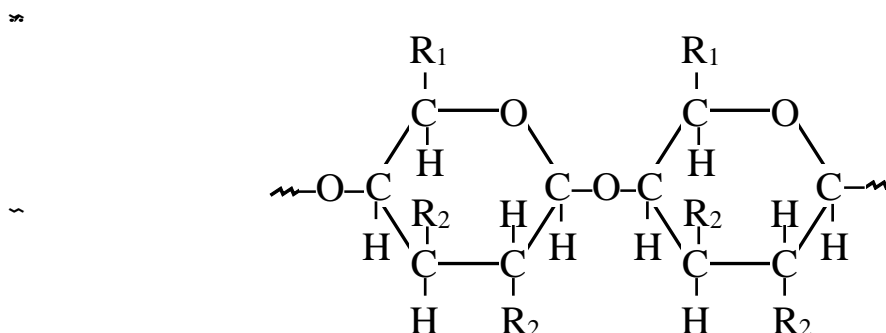
Классификация L-аминокислот по Роузу

Незаменимые	Заменимые
Аргинин	Аланин
Валин	Аспарагин
Гистидин	Аспарагиновая кислота
Изолейцин	Глицин

Лейцин
Лизин
Метионин
Треонин
Триптофан
Фенилаланин

Глутамин
Глутаминовая кислота
Пролин
Серин
Тирозин
Цистеин

Макромолекулы **полисахаридов** построены из **моносахаридов**, характеризующихся гетероциклической структурой, в которой один из атомов является кислородом, а остальные – углеродом:



Они также обладают многими физико-химическими свойствами обычных полимеров, их молекулярные массы могут варьироваться в довольно широких пределах (достигая нескольких сотен тысяч); они являются либо водонерастворимыми, либо образующими с водой коллоидные растворы в виде геля. К типичным представителям природных полисахаридов относятся крахмал, целлюлоза, гликоген и некоторые другие вещества растительного и животного происхождения. В частности, *крахмал* состоит из смеси линейного полисахарида (амилозы) и разветвленного полисахарида (амилопектина), которые характеризуются разными физико-химическими свойствами.

Гликоген весьма близок по структуре к амилопектину (иногда его называют животным крахмалом), но со значительно более разветвленными макромолекулами. Наиболее распространенный в природе полисахарид – *целлюлоза*.

Ее часто называют клетчаткой, как составную часть клеточных стенок высших растений. Клетчатка является необходимым компонентом пищевых рационов человека, поскольку она активно воздействует на работу желудочно-кишечного тракта (перистальтику), стимулирует выделение пищеварительных соков, очищает кишечник от шлаков и снижает риск опухолевых заболеваний

толстого кишечника. Главные свойства целлюлозы, отличающие ее от других полисахаридов (в том числе от крахмала или гликогена), связаны со спецификой конфигурации ее полимерной цепи, которая более благоприятна для возникновения межмолекулярных водородных связей.

Основными *полинуклеиновыми кислотами (или полинуклеотидами)*, принимающими активное участие в синтезе белков и в передаче наследственной информации, являются *дезоксирибонуклеиновая (ДНК)* и *рибонуклеиновая (РНК)* кислоты. Их мономерной единицей является нуклеотид, состоящий из трех фрагментов – остатка молекулы фосфорной кислоты, остатка молекулы сахара (дезоксирибоза или рибоза) и азотистого основания: Ф–С–О. Наиболее важными в макромолекуле ДНК являются азотистые основания: два пиримидиновых – тимин (Т) и цитозин (Ц), а также два пуриновых – аденин (А) и гуанин (Г); аналогичное строение имеют цепи РНК, которые отличаются от ДНК только типом сахара (рибоза) в основной цепи и заменой тимина на урацил (У).

Ф. Криком и Дж. Уотсоном была установлена структура ДНК, согласно которой ее макромолекула представляет собой две спиралеобразные цепи, связанные между собой двумя парами азотистых оснований (вторичная структура ДНК). Диаметр каждой спирали примерно 2 нм. Один виток спирали составляет 10 нуклеотидных звеньев; вдоль оси спирали такая структура повторяется через 3,46 нм, то есть на одно звено цепи приходится 0,346 нм. Парность азотистых оснований в молекуле ДНК обусловлена их способностью образовывать водородные связи, что придает прочность вторичной структуре. Это означает, что для объединения двух полинуклеотидных цепей необходимо, чтобы они были комплементарны (дополнительны друг к другу), то есть напротив тимина в одной цепи становился аденин из другой цепи, а напротив цитозина – гуанин. Такие специфические водородные связи делают спирали взаимозависимыми. Другими словами, каждая из двух цепей является как бы снимком другой цепи. Таким образом, в модели Крика – Уотсона уже заложены принципы комплементарности и редупликации молекул ДНК, которые и способствуют ауторепродукции и воспроизводству молекулярных, а затем и клеточных генетических

структур.

Само же число нуклеотидов в одной молекуле ДНК достигает нескольких десятков и сотен тысяч. При этом порядок их расположения (а значит, и самих пар азотистых оснований) может быть самым различным. Сочетание нуклеотидов и различная последовательность пар оснований по всей длине двойной спиралеобразной цепи создают качественное различие этих макромолекул, которое лежит в основе специфики наследственной информации, находящейся в ДНК. Именно из-за огромного числа различных комбинаций нуклеотидов отдельные организмы даже одного и того же вида не похожи друг на друга.

Несмотря на спиралеобразность, молекулы ДНК представляют собой довольно жесткие структуры; и если такую макромолекулу, обладающую молекулярной массой порядка 10^7 , максимально возможно растянуть в виде цилиндрического спирального стержня, то ее длина составила бы около 5 микрон. На самом же деле средний размер молекул ДНК минимум на 1–2 порядка меньше, так как двойная спираль свернута в клубок; его внутренняя структура зависит от физико-химических условий, в которых он находится (температура, природа растворителя, кислотность среды и т.д.). Определение нуклеотидного состава ДНК разных живых существ показало, что в ткани любого организма количественное (молярное) содержание аденина точно равно содержанию тимина, а цитозина – количеству гуанина, то есть $[A] = [T]$ или $[A] / [T] = 1$ и $[Ц] = [Г]$ или $[Ц] / [Г] = 1$. Эти соотношения называют правилами Чаргаффа. Отсюда $([A] + [Г]) / ([T] + [Ц]) = 1$, то есть сумма пуриновых оснований в любой макромолекуле ДНК (независимо от их происхождения) равна сумме пиримидиновых оснований.

После установления структуры макромолекулы ДНК появилась возможность влиять на сами наследственные признаки и возникла новая научно-практическая область в биологии – *генная инженерия*. В качестве ее некоторых достижений можно привести такие результаты, как получение необходимых лекарственных препаратов (инсулин, интерферон, гормоны роста и др.), выделение молекул ДНК из костной ткани (например, при проведении судебно-

медицинской экспертизы), изменение наследственных особенностей у ряда крупных домашних животных и другие.

Кроме того, отличительной особенностью макромолекулы ДНК является ее способность к самовоспроизведению, то есть построение рядом с собой подобной молекулы. Механизм этого процесса схематично можно представить следующим образом. На первой стадии двойная спираль ДНК разделяется на две цепи нуклеотидов путем разрыва водородных связей между азотистыми основаниями. На второй стадии каждая из двух отдельных цепей притягивает к себе свободные нуклеотиды, которые всегда находятся в ядре клетки. На третьей стадии молекулы этих нуклеотидов располагаются в строгом порядке относительно каждой из отдельных спиральных цепей (то есть парами: аденин – тимин, гуанин – цитозин). На четвертой стадии эти нуклеотиды соединяются друг с другом путем полимеризации, образуя новую, то есть «дочернюю» цепь. И наконец, на пятой стадии «дочерняя» цепь нуклеотидов объединяется с «материнской» цепью путем образования водородных связей между азотистыми основаниями, формируя новую макромолекулу ДНК. Именно по такому механизму воспроизводится структура молекулы ДНК и ее участков – генов и геномов как материальных носителей наследственной информации, что и обуславливает ее передачу от клетки к клетке, а в конечном счете от одного поколения к другому.

Современные физико-химические методы (рентгено-структурный анализ, газожидкостная хроматография, электронография, методы электронного парамагнитного резонанса и ядерного магнитного резонанса) позволили установить следующее:

- химическая структура молекулы ДНК принципиально одинакова у всех организмов (имеется в виду строение нуклеотидов и наличие азотистых оснований);
- у организмов одного и того же вида средние размеры молекул ДНК практически не изменяются;
- величина макромолекул ДНК у различных живых существ (микроорга-

низмы, растения, животные) неодинакова;

- для генов и их совокупностей (геномов) так же, как и для молекулярной цепи ДНК, характерно многообразие последовательностей нуклеотидов;

- геном человека содержит специфичные последовательности нуклеотидов, которые и обуславливают уникальность свойств человека по сравнению с другими живыми существами; именно с помощью таких сверхизменчивых участков геномов, названных мини-сателлитами, удалось получить своего рода портрет ДНК человека (иногда их называют ДНК-отпечатком или ДНК-профилем);

- изменение признака или свойства организма может происходить и без мутации гена, так как существует возможность перемены пространственного расположения гена в хромосоме;

- существуют специальные механизмы стабилизации генома и даже реставрации поврежденных его участков в результате процессов самоорганизации.

Все эти данные подтверждают общую научно-философскую концепцию молекулярной биологии, то есть концепцию генетико-информационного единства.

Что касается РНК, то этот полинуклеотид имеет ряд особенностей по сравнению с ДНК. Во-первых, РНК – это одноцепочечная макромолекула. Во-вторых, она менее устойчива при воздействии различных внутренних и внешних факторов (температура, рН среды и др.). В-третьих, существует несколько типов макромолекул РНК по их строению, структуре, свойствам, в связи с чем они выполняют несколько функций. Например, информационная РНК (иРНК) получает информацию от ДНК о том, какие аминокислоты и в какой последовательности должны входить в полипептидную цепь белка. Транспортные РНК (тРНК) доставляют аминокислоты к месту синтеза белка (к рибосоме). Рибосомные РНК (рРНК) принимают непосредственное участие в процессе поликонденсации аминокислот. В-четвертых, количество РНК в организме зависит от вида живых существ, условий их жизнедеятельности,

особенностей процесса развития организма и типа клетки. В частности, наибольшее количество молекул РНК содержится в таких клетках, в которых значительно интенсивнее образуются жизненно необходимые вещества, то есть в клеточных рибосомах.

Таким образом, система воспроизведения в живом организме осуществляет свои основные функции с помощью полинуклеиновых кислот: РНК как бы вычисляет хранимую в ДНК генетическую информацию, переносит ее в среду, содержащую исходные соединения для синтеза белка, и «строит» из них необходимые белковые макромолекулы. Сама же информация о первичной структуре белков записана в виде генетического кода (последовательности пар азотистых оснований), основными особенностями которого являются *триплетность* (последовательность из трех оснований – *триплет* или *кодон*), *вырожденность* (одна и та же аминокислота может кодироваться двумя или несколькими кодонами), *перекрываемость* (одно и то же основание не может входить в состав двух соседних кодонов) и *универсальность* (принцип записи генетической информации у всех организмов одинаков). Реализация хранимой в ДНК информации включает два этапа – *транскрипцию* (ферментативный синтез молекул РНК на соответствующих участках ДНК) и *трансляцию* (синтез белка из аминокислот на рибосомах в соответствии с информацией, закодированной в иРНК).

7.5. Концепции происхождения жизни на Земле

Проблема происхождения жизни на Земле является чрезвычайно сложной во многих отношениях.

Первым возникло представление о сотворении Мира как о «творческом акте» Бога; эта гипотеза под названием «креационизм» лежит в основе всех религий. Библия заимствовала представления о сотворении Мира из древнеави-лонских и древнеегипетских мифов, которые являются продуктами фантастики и мистицизма. Древнегреческие философы Милетской школы (VIII–VI вв. до н. э.) выдвигали идею возникновения живых существ без вмешательства духов-

ных сил (в частности, из воды). Развитие концепции самозарождения живых существ осуществлялось в трудах философов Фалеса (624–547 гг. до н. э.), Демокрита и Эпикура (341–270 гг. до н. э.). По их мнению, возникновение жизни – естественный процесс как результат природных сил. Согласно Аристотелю, организмы могут происходить как от других организмов, так и из неживой материи. Он считал, что материя – лишь пассивное начало, то есть возможность, которая может осуществиться только через определенную форму. По Аристотелю, именно бытие содержит внутреннюю цель развития (энтелехию), которая как целеустремленная внутренняя сущность вдыхает жизнь в материю.

Только в середине XVII в. Франческо Реди (1626–1698) провел первые опыты по самозарождению, доказав, что белые черви (которые встречаются в мясе и рыбе) являются личинками мух и без их доступа будет происходить простое гниение продуктов. В 1862 г. Луи Пастер (1822–1895) экспериментально доказал, что внезапное возникновение (то есть спонтанное самозарождение) микробов в различных видах гниющих настоек и экстрактов не есть возникновение жизни, а является результатом жизнедеятельности микроорганизмов (гниение и брожение), чьи зародыши внесены извне, то есть живое происходит из живого.

Отрицание концепции самозарождения привело к выдвижению некоторыми учеными гипотезы о том, что жизнь существовала вечно и что «зародыши жизни» бесконечно блуждают в пространстве до тех пор, пока не попадают в определенные условия. Эту гипотезу поддерживали такие известные естествоиспытатели, как Г. Гельмгольц (1821–1894) и У. Томсон (лорд Кельвин) (1824–1907), а в дальнейшем более детально развил в качестве *теории панспермии* С.А. Аррениус (1859–1927). Аррениус предположил, что бактериальные споры и вирусы могут уноситься под действием электростатических сил с планеты, где они существовали, и перемещаться в космическом пространстве под давлением световых волн, испускаемых звездами. Затем, соединившись с частицей пыли, увеличив таким образом свою массу и преодолев давление света, спора может попасть в окрестности ближайшей звезды и быть захвачена другой планетой.

Такие предположения позволяют сделать вывод, что живая материя способна переноситься с планеты на планету (или из одной звездной системы в другую).

Современные представления о происхождении жизни основываются на получивших широкое признание работах *А.И. Опарина*, *Дж. Холдейна*, *Дж. Бернала* и др., согласно которым возникновение жизни на Земле подготовлено длительным процессом эволюции материи в течение сотен миллионов лет. И сама возможность абиогенеза, то есть возникновения жизни из неживого, обусловлена специфическими абиотическими условиями, существовавшими на Земле.

Первичная атмосфера почти не содержала кислорода (не более 0,1% от современного количества), который образовался за счет фотодиссоциации водяного пара под действием ультрафиолетового излучения Солнца и дегазации базальтовой магмы. Вследствие отсутствия кислорода, а следовательно, и озона ультрафиолетовое излучение легко проникало сквозь атмосферу, что создавало благоприятные условия для образования из газов древней атмосферы таких органических веществ, как аминокислоты, азотистые основания, то есть тех самых веществ, молекулы которых входят в состав белков, нуклеиновых кислот и других главнейших составных частей живой материи. Благодаря отсутствию кислорода происходило не окисление органических веществ до углекислого газа и воды, а разложение их на отдельные фрагменты, которые служили исходным материалом для синтеза более сложных веществ. Они постепенно накапливались в отдельных наиболее благоприятных местах, что привело к образованию более или менее устойчивых сгущений или коацерватов, которые считаются первичными предбиологическими системами. Коацерваты имели некоторую границу раздела с окружающим раствором. Постепенно они приобрели способность к делению и самовоспроизведению, а затем и к избирательному поглощению нужных им веществ из окружающего раствора и выделению ненужных, что знаменует собой начало обмена веществ. Считают, что с возникновением этих процессов окончилась предыстория развития жизни, которую называют химической эволюцией, и коацерватная капля превратилась в про-

стейший организм.

В середине XX в. был экспериментально осуществлен абиогенный синтез белковоподобных органических веществ в условиях, воспроизводящих условия первобытной Земли. Древнейшие остатки живых организмов найдены в слоях литосферы, образовавшихся около 3,5 млрд лет назад. Первыми видами живых организмов были, вероятно, анаэробные бактерии, у которых обмен веществ происходил без участия кислорода. Около 2,5 млрд лет назад появились первые фотосинтезирующие организмы. Важнейшим результатом их деятельности стало накопление кислорода в атмосфере, сопровождаемое поглощением углекислого газа. Однако увеличение содержания кислорода долгое время сдерживалось наличием в мантии свободного железа. Оно выносилось из рифтовых зон срединно-океанических хребтов и разносилось по всему океану. Окисляясь микроводорослями, железо отлагалось по акваториям океана, особенно на мелководьях. В геологической летописи Земли этот период четко выделяется отложениями железорудных формаций криворожского типа, когда сформировалось более 90% всех запасов железных руд мира. Только с исчезновением из мантии свободного железа, являвшегося до этого мощнейшим поглотителем кислорода, последний стал в заметных количествах накапливаться в атмосфере. Это привело к возникновению на высоте 20–30 км области атмосферы с повышенной концентрацией озона, в который превращался молекулярный кислород при поглощении им жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. Озоновый слой защитил поверхность Земли от биологически активной солнечной радиации, что позволило живым организмам выйти из вод океана на сушу. Следы древнейших наземных растений относят к ордовикскому периоду. Развитие наземной растительности значительно ускорило эволюцию биосферы. Все увеличивающееся содержание кислорода в атмосфере способствовало окислению аммиака с образованием азота. Так постепенно создавалась азотно-кислородная атмосфера Земли. Но большая часть кислорода, выделившегося в результате фотосинтеза за всю историю планеты, не осталась в атмосфере, а была захоронена в литосфере в виде карбонатов, сульфатов, оксидов железа и других оса-

дочных образований. Захоронению подвергался и углерод (в форме углекислого газа). Продукцией биохимической деятельности живых организмов стали залежи угля, нефти и других горючих полезных ископаемых.

В начале палеозойской эры произошло быстрое расселение ранее не встречавшихся организмов с твердым скелетом. Появились рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, насекомые. Расцвет пресмыкающихся, крупных рептилий (динозавров) относится к началу мезозойской эры (триасовый период). Тогда же появились первые млекопитающие. Динозавры вымерли в конце мелового периода. Дальнейшее развитие жизнь на Земле получила в кайнозойской эре, когда растительный и животный миры постепенно становились близкими к современным.

В начале четвертичного периода наблюдалось резкое изменение климата, характеризующееся общим похолоданием и периодическим возникновением в средних широтах обширных материковых оледенений (плейстоцен). После окончания последнего из них началась современная постледниковая эпоха, называемая голоценом. Четвертичный период называется еще антропогеновым периодом, поскольку в его начале на Земле появились первые люди.

8. Некоторые концепции общей и прикладной экологии

Природа действует в согласии со своими законами, а человек – в соответствии со своими представлениями о законе.

Август Леш

8.1. Определение и основные задачи экологии

Экология (Ecology) – это наука о взаимоотношениях живых существ и их сообществ друг с другом и с окружающей их средой. Поэтому экология является главной частью и научной основой учения об окружающей среде, охраны окружающей среды, безопасности жизнедеятельности и природопользования.

Понятие «экология» предложено в 1866 г. Э.Г. Геккелем (греч. «ойкос» – дом, «логос» – учение, наука). На основе данного определения экологии можно сформулировать ее некоторые основные задачи:

- нахождение количеств энергии и веществ, необходимых для получения определенной биомассы;
- изучение устойчивости организмов при изменении физико-химических, биологических и социальных условий среды обитания;
- исследование закономерностей организации жизни особей, популяций и биоценозов;
- разработка научных основ использования биологических ресурсов, а также регулирования качественного и количественного состава той или иной популяции, биоценоза и биогеоценоза.

Перечисленные задачи позволяют сделать вывод, что экология может иметь общий и частный характер. Общая экология изучает законы (принципы) формирования и развития систем, заселенных различными животными и растительными организмами. Относительно частной экологии ранние представления

(в основном биологов) сводились к тому, что она занимается фактически тем же, но на уровне конкретных групп организмов. Современная концепция развития экологии позволяет продолжить ее классификацию на основе таких, например, признаков, как:

- среда обитания; тогда это – экология континента, океана, почвы, космоса и т.д.;

- область науки; тогда это – биоэкология, химическая экология, геоэкология, социальная экология и т.д.;

- объект природной среды, то есть экология растений, микроорганизмов, животных, человека.

Характерной чертой современной экологии (или мегаэкологии) является то, что она из строго биологической науки превратилась в комплексную науку, представляющую собой целый цикл знаний, вобравший в себя разделы самых различных естественных и гуманитарных научных дисциплин. А та классическая экология, основателем которой является Геккель, фактически лишь часть современной экологии, которую можно считать биологической экологией.

8.2. Основные законы, принципы и правила общей экологии

Все без исключения экосистемы подчиняются *первому закону термодинамики*. По-существу, этот закон совпадает с основополагающим законом природы, согласно которому энергия не может ни создаваться, ни исчезать, но только переходить из одной формы в другую. Это следует также из рассмотрения схемы передачи (трансформации) энергии через трофическую цепь. В соответствии с этим законом суммарная энергия биосферы остается постоянной.

Закон сохранения массы. Разность между массой вещества, поступающего в систему, и массой вещества, выходящего из системы, равна массе накапливаемого в системе вещества. Если изменения (накопления или убывания) не происходит, то система находится в устойчивом состоянии. В частности, в ходе химического процесса: масса исходных реагентов равна массе конечных продуктов. Для биологических систем такое состояние называется го-

меостатическим.

Все экосистемы подчиняются *второму закону термодинамики*. Как следует из концепций современного естествознания, второй закон термодинамики может формулироваться по-разному (имея, естественно, один и тот же смысл). Перераспределение энергии в любой системе (в том числе и экологической) характеризуется величиной, называемой энтропией. В равновесном состоянии (к которому любая термодинамическая система стремится) энтропия как мера неупорядоченности системы принимает максимальное значение. Однако известно, что процесс фотосинтеза сопровождается превращением энергии солнечного излучения в химическую энергию, которая накапливается в веществе и равна сумме всех химических связей в молекулах. Данное положение на первый взгляд противоречит второму закону термодинамики, так как при этом возникает более упорядоченная форма организации материи и энтропия должна уменьшаться. Связано это противоречие с тем, что второй закон термодинамики абсолютно строго относится только к изолированной, адиабатической или замкнутой системе, в которой не происходят обменные процессы с окружающей средой. Поэтому о действии данного закона применительно к организмам и вообще к экосистемам можно судить, исходя только из рассмотрения суммарного изменения энтропии в системе «экосистема (организм) – окружающая среда», равного разности уменьшения энтропии при образовании органического вещества ($\Delta S_1 < 0$) и увеличения энтропии в тепловых процессах, протекающих в окружающей среде ($\Delta S_2 > 0$). При этом $\Delta S = (\Delta S_1 + \Delta S_2) > 0$, так как $|\Delta S_2| \gg |\Delta S_1|$, то есть для экосистемы, участвующей в обменных процессах с окружающей средой (веществом, энергией и информацией) всегда имеем возрастание энтропии, что и соответствует второму закону термодинамики.

Закон физико-химического единства. Все живое вещество биосферы имеет единую физико-химическую основу, что указывает также на единство неживой и живой природы. Различие состоит лишь в степени устойчивости природных объектов (организма, популяции, вида) к внешнему воздействию.

При этом разрывы в трофических цепях приводят к возникновению малоуправляемых участков, что снижает устойчивость экосистемы и биосферы в целом. Именно этим обусловлено значение сохранения и увеличения биоразнообразия.

Закон внутреннего динамического равновесия. Вещество, энергия, информация и физико-химические свойства экосистем взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает качественные и количественные изменения в строении, структуре, свойствах и функциях экосистем.

1-е следствие. Любое изменение среды (вещества, энергии, свойства системы) обязательно приводит к возникновению и развитию природных цепных реакций, которые идут либо в сторону нейтрализации изменений, либо в сторону образования новых природных систем.

2-е следствие. Взаимодействие вещественно-энергетических компонентов (газы, жидкости, организмы) в биосфере обычно происходит по нелинейным законам, то есть слабое изменение может вызвать сильные отклонения в экосистеме. В настоящее время такие процессы принято называть синергетическими, а научное направление – синергетикой. Например, незначительные концентрации оксидов серы или азота приводят к образованию довольно большого количества серной или азотной кислоты в атмосфере, к выпадению их вместе с осадками на сушу или в водоемы, а затем к деградации почвенного покрова, загрязнению водоемов, к гибели лесов и т. д.

3-е следствие. Все входящие в экосистему абиотические и биотические компоненты функционально соответствуют друг другу; выпадение одного элемента системы (например, исчезновение какого-либо вида) обязательно ведет к исключению всех других ее частей, которые тесно связаны с этим элементом.

4-е следствие. Никакая экосистема не может устойчиво существовать при искусственно созданном недостатке или избытке одного из экологических элементов; длительное изменение качества и (или) количества одного из компонентов может привести даже к замене одной системы другой.

Закон энергетической проводимости экосистем. Во-первых, потоки

энергии, вещества и информации должны проходить через всю экосистему (в противном случае теряется принцип единства системы).

Во-вторых, каждая экосистема обладает специфическими свойствами, и поэтому длительность прохождения потоков энергии, вещества и информации для различных систем разная. В качестве примера можно привести такой параметр, как длительность водообмена: в особи она составляет часы, в атмосфере водообмен происходит примерно за неделю, обновление воды в реках требует нескольких недель, в озере – 15–20 лет, подземные воды обновляются примерно за 1500 лет, а воды океана – за 2500 лет.

Закон минимума рассеивания энергии. Для любых экосистем всегда наиболее оптимальным является то направление развития процесса, которому соответствует минимум рассеивания энергии (или минимум роста энтропии).

Закон оптимизации энергии, вещества и информации. Наибольшей вероятностью на самосохранение и саморегуляцию обладает система, функции и свойства которой соответствуют эффективному поступлению, переработке и использованию энергии, вещества и информации.

Закон экологической комплементарности (дополнительности). Никакая часть экосистемы не может существовать без других функционально дополняющих ее частей, а длительное функционирование организмов возможно лишь в рамках экосистем, в которых их компоненты дополняют друг друга.

Закон экологической надежности. Эффективность экосистемы, то есть ее способность к самовосстановлению (регенерации) и к саморегуляции, зависит от степени взаимодействия ее компонентов и от свойств населяющих ее организмов (их размеров, средней продолжительности жизни, скорости воспроизведения потомства и т.п.).

Закон незаменимости биосферы. Нельзя построить такие искусственные биоценозы, которые обладали бы такой же стабильностью, как и естественные. При сокращении естественной биоты (живые существа и окружающая их среда) в объемах, превышающих предельные (пороговые) значения, никакие природоохранные мероприятия (очистные сооружения, малоотходные и ресурсосбере-

гающие технологии и др.) не смогут восстановить устойчивость окружающей среды.

Закон обратимости экосистемы. Любая экосистема стремится к восстановлению экологического равновесия тем сильнее, чем больше оказывается на нее давление. Такое стремление к равновесию продолжается вплоть до достижения критических фаз ее развития, после чего экосистема или ее компоненты переходят в неустойчивое состояние.

Закон константности. Для данного геологического периода количество органического вещества биосферы всегда постоянно. Для биосферы как глобальной экосистемы этот закон является количественным выражением закона внутреннего динамического равновесия. Это означает, что увеличение количества органического (живого) вещества в одном из регионов биосферы обязательно приводит к его уменьшению на ту же величину в каком-то другом регионе. Такая закономерность является основой для управления процессами, протекающими на Земле.

Закон оптимальности экосистемы. Высокоэффективное функционирование любой системы возможно только в определенном пространственно-временном диапазоне. Это означает, что размер любой системы должен соответствовать ее функциям, то есть никакая система не может уменьшаться или расширяться беспрестанно без ущерба для эффективности ее функционирования (например, любое млекопитающее животное не может быть мельче или крупнее тех размеров, при которых оно обладает наилучшей способностью воспроизводить потомство).

Закон минимума экологического фактора. Выносливость организма или экосистемы в целом определяется минимальными характеристиками качества и количества экологических факторов, и дальнейшее их снижение обязательно приведет к гибели организма или даже к разрушению экосистемы. Установление лимитирующего фактора является важнейшим условием в экологическом прогнозировании и проведении экологической экспертизы.

Закон толерантности. Лимитирующим фактором нормальной жизнедеятельности

тельности организма является любой фактор, величина которого может находиться как в минимуме, так и в максимуме, а диапазон между ними определяет толерантность (выносливость, терпимость) живого организма к этому фактору. Образно говоря, плохо и недокормить, и перекормить; в частности, в засушливых условиях даже избыток воды может явиться отрицательным фактором в сельскохозяйственном производстве.

Закон снижения энергетической эффективности природопользования. При переходе от одного исторического периода к другому получение единицы полезной продукции от природных систем требует все бóльших затрат энергии. Одновременно растут расходы энергии на одного человека. Так, в каменном веке расход энергии на одного человека равнялся 4 тыс. ккал/сутки, в аграрном обществе – 12 тыс., в индустриальную эпоху – 70 тыс., в настоящее время в наиболее развитых странах – до 250–300 тыс. ккал/сутки. Одним из следствий этого закона является так называемая убывающая отдача в агросистемах, то есть повышение удельного вложения энергии в агросистему все более и более не соответствует увеличению ее продуктивности (урожайности). Например, если взять условно соотношение энергии к урожайности в США в начале XX в. за 1 : 1, то в конце XX в. это соотношение стало более чем 10 : 1.

Закон возврата в агросистемах. Питательные вещества, изъятые из почвы вместе с урожаем (то есть вместе с продукцией), а также потерянные в результате разных процессов (газовыделение, эрозия почвы и др.), необходимо вернуть в почву путем внесения удобрений, содержащих эти вещества (в противном случае произойдет деградация гумуса как наиболее плодородного слоя). При этом следует иметь в виду, что антиэкологичность минеральных удобрений состоит обычно не в химической природе содержащихся в них элементов, а в неэкологичном методе их применения (то есть необходимо производить удобрения согласно стандартам, учитывающим экологические требования).

Законы Коммонера. Эти законы являются определенным обобщением предыдущих и представляют собой своеобразные заповеди (или афоризмы).

1. ***Все связано со всем.*** Это означает, что все природные явления и процессы взаимосвязаны, а все экосистемы взаимно уравновешены в отношении изменения их физико-химических и биологических свойств. В результате цепного характера изменений свойств и функций экосистемы разрушение одного или тем более нескольких звеньев может явиться началом деградации или даже гибели всей системы.

2. ***Все должно куда-то деваться.*** Это положение является следствием единого закона сохранения энергии и материи. В природных процессах все химические элементы и их соединения полностью восстанавливаются, участвуя в естественных замкнутых круговоротах. В техносфере в связи с незамкнутостью искусственных технологических процессов наряду с полезными веществами всегда образуется много отходов.

3. ***Природа знает лучше.*** Так как человек в настоящее время не обладает достаточно достоверной информацией о всех функциях экосистем и о механизмах многих природных процессов и явлений, то любое антропогенное изменение в экосистеме является для нее вредным.

4. ***Ничто не дается даром.*** В природе любой материальный объект имеет цену (стоимость) и любая экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть потеряно; то есть все, что извлечено из нее человеком, должно быть возмещено.

Принцип эмерджентности. Смысл этого принципа состоит, во-первых, в наличии в целой системе специфических свойств и признаков, которые отсутствуют в ее частях, и, во-вторых, в возможности наличия простой суммы элементов, не соединенных специальными взаимосвязями и взаимодействиями. Два наглядных примера: а) любая молекула обладает иными свойствами по сравнению с составляющими ее атомами, а простое механическое соединение атомов не дает качественной специфики молекулы; б) само по себе наличие отдельных органов не позволяет получить целого организма.

Принцип эмерджентности имеет большое значение для формирования правильного системного мышления и должен учитываться при проведении эко-

логического прогнозирования и экологической экспертизы. В частности, при моделировании биогеоценоза вводится специальная величина – коэффициент эмерджентности, который отражает качественное различие между моделью и оригиналом. При этом величина коэффициента эмерджентности обычно возрастает с увеличением сложности природной системы.

Принцип Ле Шателье – Брауна. При внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабевает. В практическом отношении это означает, что чем больше отклонение от экологического равновесия, тем больше требуется энергозатрат для ослабления воздействия внешнего фактора.

Принцип агрегации особей. Увеличение размера популяции, то есть количества особей (агрегация), как правило, усиливает конкуренцию между ними за пищевые ресурсы и жизненное пространство, но в то же время повышает способность к выживанию всего сообщества в целом. Это означает, что недоселенность, как и перенаселенность, могут явиться лимитирующими факторами.

Принцип обманчивого благополучия. Успехи или неудачи в природопользовании часто могут быть кратковременными, и окончательная объективная оценка эффективности мероприятий по преобразованию природы может быть дана только на основе результатов вызванных ими природных цепных реакций и лишь по истечении довольно длительного промежутка времени.

Принцип «плотной» упаковки. Виды, объединенные в биоценоз, могут оптимально использовать все возможности для своего существования (минимальная конкуренция и максимальная биологическая продуктивность) только в условиях данного биотопа.

Принцип групповой целостности («никто не гибнет в одиночку»). Исчезновение центрального (главного) вида приводит к гибели многих других видов данной группы.

Принцип биологического замещения (принцип «незваного» гостя). Новый внедрившийся в экосистему вид старается создать свою экологическую

нишу, вытесняя менее конкурентноспособные виды и ускоряя их исчезновение.

Принцип смены трофических цепей («система не терпит пустоты»).

Исчезнувшая трофическая цепь одних видов, как правило, сменяется аналогичной цепью новых видов, так как именно это сохраняет способность экосистемы наиболее оптимально усваивать поступающие извне вещества, энергию и информацию.

Принцип неопределенности смены видов («старый друг лучше новых двух»).

Замена трофических цепей вновь внедрившимися в экосистему видами может быть желательной или нежелательной по хозяйственным, медицинским, санитарно-гигиеническим или другим показателям.

Принцип разнообразия.

Чем разнообразнее условия биотопа, тем больше видов в биоценозе.

Некоторые правила, имеющие характер естественноисторических нормативов, занимают в общей экологии особое место.

Правило меры преобразования природных систем.

При эксплуатации природных систем нельзя превышать те пределы, которые позволяют системам сохранять свойства адаптации, то есть способность к самоорганизации и саморегуляции. Это правило имеет несколько следствий:

а) единица возобновимого ресурса может быть получена только лишь в отрезок времени, в течение которого не превышаются предельные значения используемых ресурсов;

б) природоохранные мероприятия (разведение лесов, очистка водоемов и т.п.) возможны лишь в определенных оптимальных размерах;

в) всегда менее эффективны искусственные меры воздействия (например, технические системы), чем естественные системы или процессы (даже регулируемые человеком).

Правило «мягкого» управления природой.

Природосообразное («мягкое») управление природными процессами должно быть основано на использовании объективных законов природы и мероприятиях, способствующих благоприятному и долгосрочному результату, отвечающему интересам настоящего и

будущих поколений.

Правило «жесткого» управления природой. Только техническое («жесткое») управление природными процессами неизбежно приводит к разрушительным социально-эколого-экономическим последствиям, продолжающимся в течение довольно длительного времени.

Правило замещения экологических условий. Любое условие среды в определенной степени может замещаться другим, что указывает на возможность различия причин экологических последствий при одном и том же внешнем факторе воздействия.

Правило интегрального ресурса. Разные (иногда конкурирующие между собой) отрасли хозяйства при совместном использовании одного и того же компонента природной системы наносят ущерб друг другу тем сильнее, чем больше изменяют эксплуатируемый компонент или экосистему в целом. Например, совместное использование воды системой волжских ГЭС, водным транспортом, орошаемым земледелием, коммунально-бытовым хозяйством и рыбопромысловыми мероприятиями в конечном счете настолько изменяет качество воды (естественно, в худшую сторону), что сама вода становится причиной деградации экосистем на протяжении всего бассейна Волги.

Правило соответствия условий среды генетическому развитию вида или популяции. Любой вид организмов может нормально существовать до тех пор, пока окружающая его среда будет соответствовать генетическим возможностям адаптации вида (или популяции) к ее изменениям.

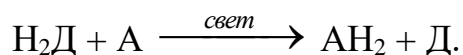
Правило одного процента. Изменение энергетики природной системы за пределы одного процента от общего количества солнечной энергии, поступающей на Землю, выводит систему из состояния экологического равновесия. Это подтверждается экспериментальными исследованиями глобального фотосинтеза, мощных циклонов, извержений вулканов и других подобных процессов, которые характеризуются общей энергией, не превышающей одного процента от энергии солнечной радиации. Переход количества использования энергии традиционных ресурсов (нефть, газ, уголь, ядерное топливо) за порог одного про-

цента часто приводит к существенным аномалиям – резкому изменению климата, усилению парникового эффекта, возникновению крупных лесных и степных пожаров.

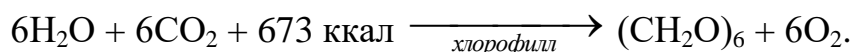
Правило десяти процентов. Переход энергии с одного трофического уровня на другой сопровождается сохранением примерно десяти процентов энергии, что соответствует оптимальному функционированию экосистемы.

8.3. Трофические цепи и уровни

Главной особенностью биоценоза является его способность к поддержанию устойчивого круговорота веществ в биосфере, который основывается на пищевых взаимоотношениях разных популяций. Пищевые взаимоотношения организмов в экосистемах обычно представляются в виде цепей питания или трофических цепей (греч. «трофос» – пища). В соответствии с этим все известные живые существа разделяются на три группы: продуценты (производители), консументы (потребители) и редуценты (разлагатели или деструкторы). *Продуценты* – организмы, способные синтезировать органические вещества из неорганических. Типичные представители таких автотрофных организмов – зеленые растения и некоторые бактерии, способные осуществлять *фотосинтез*, то есть превращать энергию солнечного света в энергию химических связей органических веществ. Энергетический смысл фотосинтеза заключается в расщеплении светом некоторого донора водорода H_2D и переносе водорода на акцептор А с выделением свободного окислителя Д:



Роль донора водорода могут играть некоторые органические соединения, сероводород или вода, а в качестве акцептора выступает диоксид углерода. Наибольшее распространение получил процесс с участием воды, идущий в растениях, где солнечная энергия вводится в цепь фотосинтетических превращений через зеленый пигмент хлорофилл:



Следует иметь в виду, что фотосинтез представляет собой весьма сложную реакцию, состоящую из многих стадий: фотолиза воды, полимеризации и других. Общее количество энергии, запасаемой ежегодно в растениях, очень велико (10^{24} ккал), а коэффициент полезного действия фотосинтеза крайне мал (около одного процента). Это связано с тем, что хлорофилл поглощает не более 10% энергии всего спектра излучения Солнца (в голубой, 400–500 нм, и красной, 610–690 нм, областях спектра), что при сопоставлении со всей энергией Солнца, поступающей на Землю, составляет весьма малую долю.

Следующим звеном в трофической цепи являются *консументы* – организмы, которые используют в качестве пищи готовые органические вещества растений и животных. Это звено включает несколько трофических уровней: консументы первого порядка (растительно- или травоядные животные), второго порядка (плотоядные), третьего порядка (хищники и паразиты). Эти группы организмов разлагают сложные пищевые вещества на более простые, вновь синтезируют из них белки, жиры и углеводы, которые затем используются как для построения своего тела, так и в качестве источника энергии.

Завершающим звеном в трофической цепи являются *редуценты*, которые используют в качестве пищи мертвые органические вещества (разлагающиеся остатки отмерших организмов или отбросы, например непригодные к дальнейшему использованию пищевые продукты). К редуцентам относятся бактерии, микроорганизмы и грибы. Являясь последним звеном пищевой цепи (по существу, круговорота веществ), редуценты возвращают в окружающую среду минеральные вещества, готовые для потребления растениями и возникновения нового биогенного цикла.

Таким образом, пищевые связи в биоценозе определяются круговоротом веществ и представляют собой механизмы передачи энергии от одного типа организмов к другому. Простейшие схемы круговорота веществ и потоков энергии через пищевые цепи представлены на рис. 8.1 и 8.2.

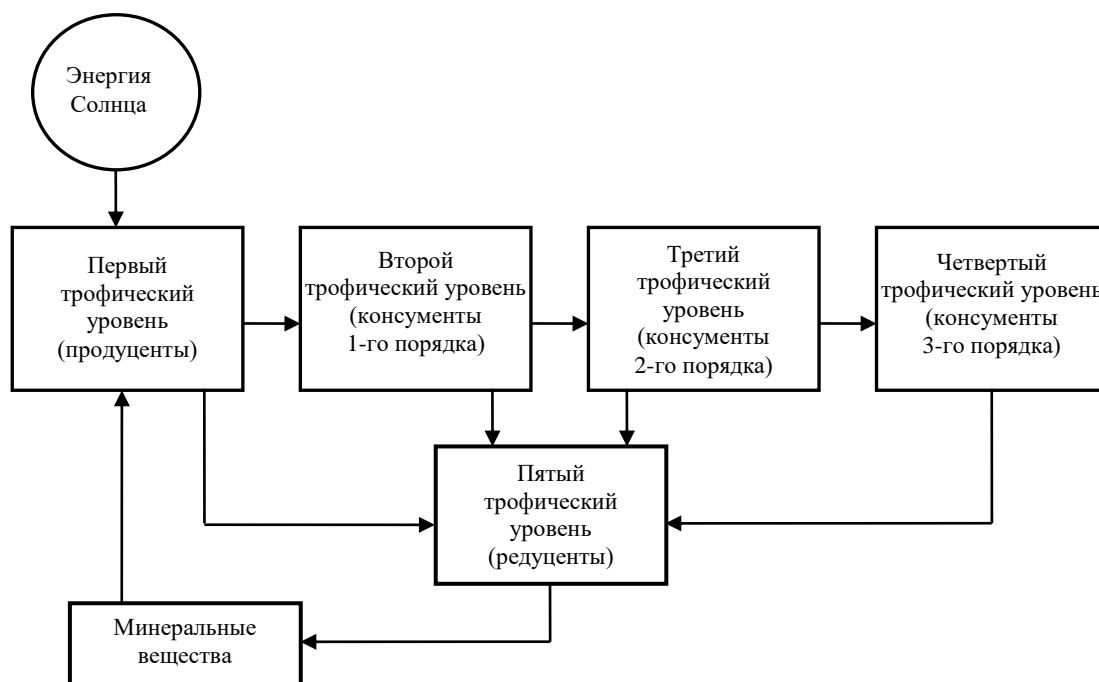


Рис. 8.1. Схема круговорота веществ и потоков энергии через пищевые цепи

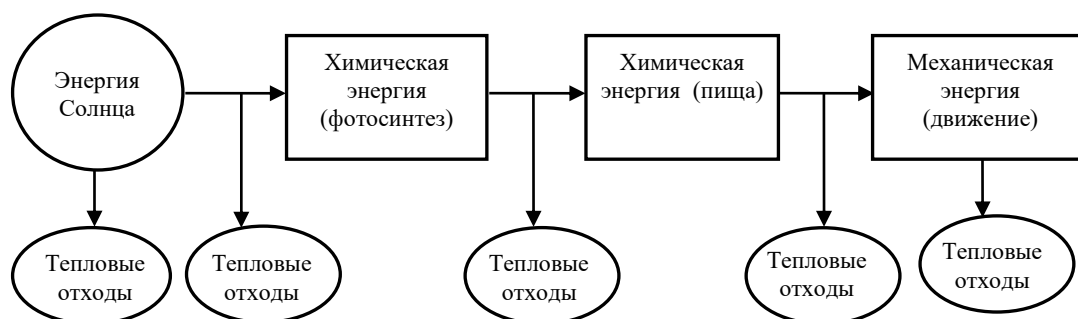


Рис. 8.2. Трансформация энергии в окружающей среде

Анализ взаимоотношений между звеньями трофической цепи показывает, что при переходе от одного звена к другому энергия, заключенная в потребляемой массе, рассеивается; поэтому в энергетическом отношении более выгодны короткие трофические цепи.

В отличие от круговорота веществ, круговорота энергии не происходит именно потому, что энергия практически не возвращается от редуцентов к про-

дуцентам. Экосистемы, являясь открытыми системами, всегда требуют для своего функционирования притока новой энергии. Источником нового количества энергии является Солнце, энергия радиации которого передается через звенья трофической цепи и превращается из одного вида в другой.

Таким образом, с точки зрения передачи энергии и ее трансформации трофическая цепь – это путь однонаправленного потока довольно небольшой части высокоэффективной солнечной энергии через живые существа в окружающую их среду в виде низкокачественной тепловой энергии (отходов).

8.4. Экология популяций и видов

В отличие от теории происхождения видов Дарвина современные представления о биохимической эволюции основываются на том, что *элементарным (первичным) уровнем иерархии в живой природе является популяция*, а определяющим процессом в биохимической эволюции является изменение свойств популяции. Жизнь на Земле характеризуется как непрерывностью, так и свойствами дискретности, что выражается в наличии отдельных особей, численность которых разбита на группы, образующие систему дискретных совокупностей (видов и популяций). Различные географические регионы биосферы заселены живыми существами разнообразных видов с соответствующей численностью особей. Каждый отдельный вид организмов всегда представлен в биосфере не отдельными разрозненными особями, а их совокупностью, которая населяет определенную территорию. В связи с этим возникает вопрос об определении понятия «вид». В общем случае термин «вид» используют для обозначения какой-либо группы сходных предметов или объектов, которым дается то или иное наименование. Часто этот термин употребляется и по отношению к живым организмам. Именно биологическая концепция вида указывает на тот факт, что виды состоят из популяций и обладают внутренним генетическим единством (генофондом). Поэтому все особи вида имеют общую генетическую программу (исторически сложившуюся в ходе эволюции) и составляют так называемое репродуктивное сообщество. В связи с этим особи одного вида жи-

вотных реагируют друг на друга как на потенциальных брачных партнеров и отыскивают друг друга с целью размножения.

Таким образом, во-первых, *вид является экологической единицей* и взаимодействует с другими видами, обитающими в той же среде. Во-вторых, *вид – генетическая единица*, содержащая огромный взаимосвязанный генофонд, в то время как особь – всего лишь малая часть генофонда, существующая в течение короткого периода жизни. При этом концепция вида называется биологической не только потому, что относится к биологическим объектам, но и потому, что вид представляет собой защищенный генофонд. Выражается это в том, что гены одного генофонда образуют гармоничные комбинации, так как они коадаптированы естественным отбором (то есть естественный отбор как одна из движущих сил биологической эволюции сопровождается адаптацией организмов). Однако биологическая концепция вида приобретает определенный смысл в том случае, когда речь идет о популяциях, существующих в одной и той же местности и в одно и то же время. Чем дальше отстоят две популяции друг от друга в пространстве и во времени, тем труднее становится проверить их видовой статус по отношению друг к другу. Значит, определение вида можно сформулировать следующим образом: *виды – это группы скрещивающихся естественных популяций, репродуктивно изолированные от других таких групп.*

Понятие «популяция» в биологии и экологии занимает особое место, так как с этим природным явлением связано реальное существование любых видов живых организмов. В этом смысле *популяцию можно считать элементарной (первичной) формой существования видов.* Как ранее указывалось, популяция (фр. *population*, лат. *populus* – народ, население) – это совокупность особей одного вида с общим генофондом, которые в течение большого числа поколений населяют пространство с относительно однородными условиями обитания. Внутри популяции осуществляется та или иная степень свободного смешивания, основанного на случайном и равновероятном скрещивании всех типов особей. Обычно популяция отделена от соседних аналогичных совокупностей какой-либо формой изоляции. Популяция имеет довольно сложную структуру:

ее различают по полу, возрасту, по пространственным и родственным объединениям особей. Каждая популяция обладает собственной судьбой в том смысле, что она способна (по крайней мере теоретически) неограниченно развиваться в благоприятных условиях окружающей среды. Иногда группы пространственно смежных популяций могут образовывать так называемую географическую популяцию. Кроме того, соседние популяции одного вида, как правило, отличаются друг от друга по определенным признакам. Когда один признак рассматривается из ряда совместно обитающих популяций, то некоторые признаки постепенно и закономерно изменяются. Такие эволюционные изменения признаков можно считать приспособлением популяций к местным условиям. Для обозначения изменения какого-либо признака Дж. Хаксли в 1942 г. предложил ввести термин «клина». Клинальность представляет собой результат действия двух противоположных сил (то есть конкуренции): во-первых, естественного отбора, который стремится сделать каждую популяцию адаптированной к ее локальной среде, а во-вторых, наличия генов, стремящихся сделать все популяции вида идентичными. Клины широко распространены и встречаются у большинства видов микроорганизмов, растений и животных. И это понятно, так как такие климатические факторы, как температура, режим осадков, испарение, число холодных и теплых дней, снегопадов и т.п., изменяются, как правило, закономерно и направленно. Следовательно, наличие клины указывает на то, как тесно организмы и их популяции связаны с внешней средой, зависят от нее и реагируют на ее изменения. Все это говорит о том, что, как и вид, термин «популяция» наряду с биологическим имеет экологическое значение. Именно поэтому под популяцией можно также понимать часть населения вида, занимающую определенную территорию.

Вместе с тем нужно иметь в виду, что сам природно-территориальный комплекс, в котором находится популяция, может обладать различными особенностями, связанными с природно-климатической зоной, с ландшафтом и его отдельными морфологическими частями. Поэтому, с одной стороны, любая популяция характеризуется обособленностью от других популяций данного вида.

С другой стороны, популяции как генетико-экологические системы различаются структурой, величиной (размерами), экологическими и генетическими параметрами, а также уровнем связей между собой.

Под *структурой популяции* имеются в виду любые функциональные части ее как целого, связанные в определенном порядке. Такими частями являются половая, возрастная, пространственная, генетическая и экологическая структуры. Все они в определенном смысле могут рассматриваться как варианты генетической структуры, поскольку любое подразделение популяции в периоды ее эволюции зависит прежде всего от генетических признаков.

Обычно считают, что *половая структура популяции* – это соотношение самцов и самок в разных возрастных группах. Поэтому половая структура популяции определяется первичным (при возникновении зигот, то есть клеток, образующихся в результате оплодотворения), вторичным (у новорожденных) и третичным (к моменту наступления половой зрелости) соотношением полов. Естественно, что вопрос о соотношении полов в популяции имеет значение только для разнородных особей, то есть половая структура популяций у низших растений и животных отсутствует. Для большинства видов живых существ половая структура популяции является достаточно универсальной характеристикой. Таким образом, не вдаваясь в дальнейшие подробности, можно считать, что половая структура популяции – это не простое численное соотношение особей мужского и женского полов в разных возрастных группах, но, во-первых, это – доля разного типа самцов и самок в разных возрастных группах, во-вторых, это – доля стерильных особей (не способных размножаться) и, в-третьих, это – доля особей с разными наборами хромосом. Кроме того, этот параметр является специфическим показателем для каждой популяции и отражает генетические, онтогенетические и биогеоценотические влияния на конкретные популяции.

Каждая особь не только входит в пространственную группировку, но и является членом временной группировки, то есть поколения, приплода или возрастной группы. Именно поэтому каждая популяция обладает определенной

возрастной структурой, которая отражает такие важные процессы, как интенсивность воспроизведения, уровень смертности и скорость смены поколений. Возрастная структура популяции зависит от генетических особенностей вида, которые, в свою очередь, определяются конкретными условиями существования отдельных популяций. Обычно специфика возрастной структуры проявляется через соотношение групп особей разного абсолютного возраста (так называемые возрастные пирамиды), через соотношение разных поколений, приплодов и возрастных групп, через соотношение предрепродуктивного, репродуктивного и пострепродуктивного периодов, а также через характер роста особей. В нормальной, то есть устойчивой популяции число молодых всегда больше, чем число особей более старшего возраста. При этом «возрастные пирамиды» часто оказываются весьма подвижными характеристиками, которые могут изменяться даже в одной популяции на протяжении сравнительно коротких периодов времени. Кроме этого, выделяют еще две общие характерные особенности возрастной структуры популяции. Во-первых, репродуктивный возраст у некоторых видов оказывается настолько динамичной характеристикой, что она может меняться от популяции к популяции, причем даже внутри популяции находятся такие особи, которые резко отличаются по этому показателю. Во-вторых, у некоторых видов возрастная структура усложняется в связи с неравномерным созреванием самцов и самок.

Таким образом, рассмотренная специфика некоторых типов структур популяций позволяет сделать следующие выводы:

- анализ свойств популяций и различных периодов их жизни показывает, что состав популяций разных видов в одном и том же биоценозе, как и состав популяций одного вида в разных биоценозах, неодинаков;
- изучение состава популяций важно не только в теоретическом, но и в практическом отношении, так как разновозрастные особи, входящие в состав популяции, по-разному реагируют на воздействие различных антропогенных факторов;
- возрастной состав любой популяции зависит от времени достижения

половой зрелости, общей и средней продолжительности жизни особей, длительности периода размножения, продолжительности жизни поколения, частоты приплода, характера и динамики смертности в разных половых и возрастных группах, а также от колебаний численности популяции.

Причины, по которым популяции группируются в пределах ограниченных участков, разнообразны, но главные из них состоят в неравномерности распределения экологических условий в географическом пространстве и в сходстве требований к этим условиям у организмов одного вида.

Возникает вопрос о конкретных размерах местообитаний популяций в природе. Известно, что природные ландшафты состоят из отдельных экосистем, в пределах которых изменчивость экологических характеристик значительно ниже, чем между разными экосистемами. Если некоторый вид поселился в данном биогеоценозе (то есть какой-то участок служит для него подходящим местообитанием), то ввиду достаточной однородности условий на всей его территории весьма вероятно, что и вся эта территория экосистемы будет заселена этим видом. А так как внутри биогеоценоза обычно не может быть каких-либо ярко выраженных границ, затрудняющих панмиксию (смешивание), то все организмы данного вида, обитающие на территории биогеоценоза, образуют единую популяцию. Это относится прежде всего к популяциям растений, которые, будучи неподвижными, наиболее тесно связаны с условиями местообитания. Популяции же животных и микроорганизмов неразрывно связаны с растениями трофическими цепями; а это в совокупности с определенными условиями для выживания и размножения также влечет за собой приуроченность ареалов популяций консументов и редуцентов к определенным биогеоценозам.

Функционирование популяции в биогеоценозе может быть охарактеризовано еще такими более общими параметрами, как плотность населения, средняя биомасса и суммарная численность.

8.5. Биосфера как глобальная система

Понятие «биосфера» было введено в 1875 г. австрийским геологом Э.

Зюссом (1831–1914). В его понимании биосфера – совокупность всех живых организмов, живая оболочка Земли. Выдвигалась и другая точка зрения, которая исходила из взаимосвязи живых и неживых организмов. Немецкий ученый А. Гумбольдт (1769–1859) развивал идею целостности природы, взаимосвязи всех ее процессов и явлений. Русский естествоиспытатель В.В. Докучаев (1846–1903) в учении о ландшафтно-географических зонах разрабатывал концепцию единства всех элементов земной поверхности, которая получила наиболее фундаментальное обоснование и развитие в учении о биосфере В.И. Вернадского (1863–1945). Биосфера возникла около 4 млрд лет назад. В самом общем виде организация биосферы представляет собой единство биотических (живых) и абиотических (неживых) элементов, вовлеченных в сферу жизни.

Биосфера (греч. *bios* – жизнь, *sphaera* – мяч, шар) – оболочка Земли, охватывающая атмосферу до нижней границы озонового слоя (20–25 км), верхнюю часть литосферы и всю гидросферу. Ее состав, строение и энергетика определяются совокупной деятельностью живых организмов. Основным источником биогеохимической активности организмов и, следовательно, основой энергетики биосферы является солнечная энергия.

Современная биосфера представляет собой геологически мгновенный срез продолжительно существующей и развивающейся *панбиосферы* – совокупности былых биосфер (термин предложен Б.С. Соколовым в 1981 г.). Для процесса развития биосферы характерны следующие тенденции (по Колчинскому, 1988):

1. Постепенное увеличение общей биомассы и биопродуктивности.
2. Прогрессивное накопление аккумулированной солнечной энергии в поверхностных оболочках Земли.
3. Увеличение информационной емкости биосферы, проявляющейся в росте разнообразия органических форм, в увеличении числа геохимических барьеров и возрастании дифференцированности физико-географической структуры биосферы.
4. Усиление некоторых биогеохимических функций живого вещества и

возникновение у него новых функций.

5. Интенсификация преобразующего воздействия жизни на атмосферу, гидросферу и литосферу и увеличение роли живого вещества и продуктов его жизнедеятельности в геологических, геохимических и физико-географических процессах.

6. Расширение сферы действия биотического круговорота и усложнение его структуры.

7. Так как все эволюционирующие системы не бессмертны, имеют «начало» и «конец» своего существования, то возможны как «восходящие», так и «нисходящие» тенденции в развитии биосферы.

Н.Ф. Реймерс (1994) сформулировал принципы развития биосферы.

Экоисторический принцип. Геологические процессы и явления постоянно изменялись во времени, так что процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с современными (особенно в количественном отношении).

Принцип глобального замыкания биогеохимического круговорота. В ходе эволюции биосферы доля биологического компонента в замыкании биогеохимического круговорота веществ направленно возрастает.

Принцип саморазвития биологических систем Бауэра (1935). Развитие биологических систем есть результат увеличения их внешней работы, выражающийся в их воздействии на окружающую среду.

Принцип катастрофического толчка. Природная или природно-антропогенная катастрофа всегда приводит к существенным перестройкам биосферы, которые могут адаптировать ее к новым условиям среды.

Принцип непрерывности и дискретности развития биосферы. Процесс медленного эволюционного изменения закономерно прерывается фазами бурного развития и быстрого вымирания.

Эволюцию биосферы принято рассматривать с позиций этапности. Этапы развития биосферы в той или иной степени согласуются с геохронологическими подразделениями, то есть с этапами развития планеты в целом.

В процессе жизнедеятельности организмов происходили коренные изме-

нения абиогенных компонентов биосферы. Так, в атмосфере появился кислород; возник «озоновый экран», защищающий живые объекты от коротковолнового ультрафиолетового излучения; часть углекислоты была законсервирована в виде залежей каменного угля и других ископаемых. Некоторые вещества были выведены из активного биотического круговорота (известняк, руды, селитра и др.). От поверхности Земли биосфера простирается примерно до 35 км (до верхней границы озонового экрана); нижняя – ограничена органическими отложениями на дне океанов. Биосфера и ее живые объекты находятся в неразрывной взаимосвязи. С одной стороны, жизнедеятельность развивающихся видов определяет особенности биосферы; с другой стороны, именно структура биосферы обуславливает возможность выживания и развития отдельных видов и популяций. Специфическая особенность биосферы – наличие совокупности живых организмов. На Земле обитает несколько десятков миллионов видов животных и растений; более 90% из них живет на суше. Основу биомассы Земли составляют зеленые растения, способные к фотосинтезу. Органический мир планеты существует в форме биотического круговорота, который обеспечивает непрерывность процессов в биосфере. Особенно велика роль в биотическом круговороте микроорганизмов, способствующих разложению органических веществ на минеральные соли и простейшие органические соединения, которые затем используются зелеными растениями для последующего синтеза. Энергетический источник биотического круговорота – солнечное излучение. При этом лишь около 0,2% солнечной энергии идет на синтез органических веществ, а большая ее часть расходуется на абиотические процессы.

Развитие биосферы связано с противоречием между безграничной способностью к воспроизводству, свойственной живым организмам, и ограниченностью ее природно-ресурсного потенциала в конкретном пространственно-временном интервале. Это противоречие разрешается путем использования новых веществ, источников энергии и информации. Наследственная изменчивость выступает как необходимая предпосылка развития, а естественный отбор – как механизм закрепления новой информации. Живые организмы не могут суще-

ствовать в биосфере лишь на основе внутренних циклов саморегуляции, они развиваются под воздействием постоянно изменяющихся в пространстве и во времени внешних условий, и их эволюция является функцией не только биосферы, но и приспособительских изменений наследственности. Живые существа обладают информацией, заложенной в процессе эволюции предшествующими поколениями. Эту информацию организм перерабатывает, хранит и вновь передает вовне уже с учетом определенных ответных реакций на соответствующие внешние воздействия, причем хранителем информации служит наследственность, выражая эволюционный опыт организма, который и обеспечивает как внутреннюю целостность организма, так и его гармоничность взаимоотношений с биосферой. Характер окружающей среды может оказывать решающее воздействие на организм. Если соответствующее воздействие биосферы выходит за пределы прочности живого организма, то это приводит к нарушению его целостности, ведущей к необратимым изменениям. При этом организм не только избирательно относится к требованиям среды, но и в состоянии воздействовать на нее.

Для биосферы в целом характерна исключительная устойчивость, и лишь появление человека создало предпосылки к нарушению исторически сложившегося равновесия биосферы и ее подсистем.

В настоящее время существует ряд концепций биосферы.

Биогеохимическая концепция разработана В.И. Вернадским в 1920-х годах. В ее основе – выявление взаимосвязи космических, геохимических и геологических факторов эволюции. Согласно этой концепции биосфера включает следующие основные компоненты:

- *живое вещество* – совокупность всех живых организмов;
- *биогенное вещество* – создается и перерабатывается организмами (каменный уголь, битумы, известь и т.п.);
- *абиогенное вещество* – образуется без участия живых организмов (продукты тектонической деятельности, космические тела и др.);
- *биокосное вещество* – результат совместной деятельности организмов и

абиогенных процессов (вода, почва и др.).

Основные функции, которые выполняет живое вещество в биосфере: газовая (все организмы), кислородная (хлорофильные растения), окислительная (бактерии, преимущественно автотрофные), кальциевая (водоросли, бактерии и т.д.), восстановительная (бактерии), концентрационная (животные и растения), деструктивная (бактерии и грибы), восстановительного разложения (бактерии), процессы метаболизма и дыхания (все организмы).

Высокая организованность биосферы создается и сохраняется деятельностью живого вещества, основной формой которой является его биогеохимическая работа, то есть осуществление необратимых и незамкнутых круговоротов вещества и трансформации потоков энергии между структурными компонентами: горными породами, природными водами, газами, почвами, растительностью, животными и микроорганизмами. Изучение биогеохимических циклов как незамкнутых круговоротов помогает глубже проникнуть в суть процессов организованности биосферной оболочки. При этом каждое последующее состояние биосферы не повторяет предшествующее. Вовлечение в миграционные циклы одних вещественно-энергетических потоков и выход из биогеохимических циклов других приводит к непрерывному обновлению биосферы, способствует ее прогрессивному эволюционному развитию и усложнению живого вещества. Концентрируя космическую энергию и трансформируя ее в активную энергию земных процессов, живые организмы стремятся к максимальному проявлению этой действенной энергии в процессах обмена, круговорота и биогеохимических циклах. Прямые и обратные связи такой цикличности и составляют механизм функционирования биосферы и сущность ее организованности. Развитие биосферы связано с ее усложнением, что выражается в увеличении разнообразия живых существ, возрастании организованности живого и расширении сферы распространения живого. Таким образом, основная идея биогеохимической концепции биосферы – это признание эволюции биологических видов в органическом единстве с геохимическими и геологическими факторами, а их взаимосвязь проявляется в биогенной миграции атомов в биосфере.

Термодинамическая концепция. Данная концепция обусловлена соответствием биосферных процессов второму началу термодинамики. Для живого объекта рост энтропии, то есть дезорганизация (хаос), сопровождается его деструкцией и приводит в конечном счете к деградации (смерти). Живое вещество биосферы оказывает существенное влияние не только на геохимическую миграцию на поверхности планеты, но и на происходящие в биосфере превращения энергии. Присутствие живого вещества придает энергетическим явлениям в биосфере особые черты, не характерные для других сфер (гидросфера, атмосфера и др.) планеты. Именно в рамках этой концепции устанавливается взаимосвязь между вторым началом термодинамики и явлениями, происходящими в биосфере, в результате чего биосфера вышла на высокий уровень организации. При этом форма реализации законов термодинамики в биосфере существенно отличается от их проявления в физических системах неживой природы. Живые системы не только подчиняются законам термодинамики, но и адаптируются к ним, а также «консервируют» свободную энергию, способную к дальнейшим превращениям. Известно, что второй закон термодинамики в полном объеме применим только для изолированных и замкнутых систем. А поскольку локальные экосистемы, объединенные в биосферу, выходят в космическое пространство, то биосфера имеет принципиальную возможность реализовывать тенденцию к уменьшению энтропии, то есть к росту упорядоченности. Следовательно, биосфера как целое способна к самообновлению, и именно в способности живого создавать порядок из хаоса и преобразовывать энтропию в антиэнтропию (негэнтропию) заключается отличие живого от неживого. Кроме того, термодинамическая концепция биосферы обуславливает свойство адаптации организма как естественного антиэнтропийного состояния живой системы.

Биокибернетическая концепция. Согласно биокибернетической концепции Шмальгаузена (1884–1963) полный круг преобразований в элементарном цикле эволюционного процесса образуют четыре основных структурных уровня жизни: 1) передача наследственной информации через зиготу и клеточные деления; 2) преобразование информации в индивидуальном развитии (реа-

лизация фенотипа); 3) передача обратной информации через фенотипы особей, составляющих популяционно-видовой уровень организации жизни; 4) преобразование обратной информации в биогеоценозе и запись наследственной информации в молекулах ДНК. На основе этих структурных уровней объясняется механизм саморегуляции и саморазвития жизни как целостности. Биокibernетическая концепция довольно полно передает функциональную природу самоорганизации живых систем, которая возможна в силу их открытого характера, то есть обмена со средой не только веществом, но и энергией и информацией. Биологические эффекты взаимодействия живых систем со средой зависят не столько от величины их энергии, сколько от получаемой ими информации, в соответствии с которой энергия организуется в целях ее экономии. Таков основной критерий самоорганизации в биосфере. Таким образом, иерархическая система биосферы, в которой сочетаются как функциональная подчиненность частей целому, так и относительная автономность их, оказалась весьма конструктивной моделью саморегуляции и самоуправления живых систем.

Компьютерное и математическое моделирование биосферных процессов. Одна из первых работ в этом направлении выполнена итальянским математиком В. Вольтерра (1860–1940), который предложил математическую модель «хищник – жертва» с использованием системы дифференциальных уравнений. В 60–80-х годах XX в. активизировались исследования по компьютерному исследованию биосферных процессов, которые развивались в рамках глобального моделирования. В нашей стране работы в этом направлении проводились А.А. Ляпуновым (1911–1973). Им развивались идеи кибернетического моделирования биологических сообществ – от элементарных экосистем до биосферы в целом. Компьютерные модели биосферы разрабатывались под руководством Н.Н. Моисеева (1917–2000). Одна из сложностей моделирования биосферных процессов заключается в множественности параметров, которые необходимо учитывать для построения адекватной ее модели.

Концепция В.И. Вернадского о ноосфере. В Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию (1996) говорится: «Движение че-

ловечества к устойчивому развитию в результате приведет к формированию предсказанной В.И. Вернадским сферы разума (ноосферы), когда мерилom национального и индивидуального богатства станут духовные ценности и знания человека, живущего в гармонии с окружающей средой». Это очень важно применительно к методологии, согласно которой учение о ноосфере и концепция устойчивого развития взаимосвязаны. Именно на начальном этапе перехода мирового сообщества к новой форме (стратегии) развития важно соединить уже существующие в различных странах и научных сообществах научные разработки и их результаты, которые содействовали бы воссозданию образа будущего, получившего наименование сферы разума или ноосферы. Устойчивое развитие в этом смысле можно определить как будущую модель социоприродного процесса, цель которого – сохранение человечества и биосферы и созидание ноосферы.

Ноосфера (греч. «сфера разума») – гипотетическое будущее состояние общества и его взаимодействия с природой, в котором приоритетное место будет занимать разум. Идея «царства разума» была высказана в эпоху Просвещения, когда о глобальных экологических проблемах еще не думали. Просветители дали миру идеологию, пронизанную верой в человеческий разум, призванный обеспечить прогресс общества и освободить его от оков невежества, мифов, суеверий, нелепых традиций, тирании. Однако «просветительный разум» оказался невостребованным, и стихийное шествие капитализма по планете привело, по сути, к формированию индустриально-потребительских, а не ноосферных ценностей.

Концепции сферы разума (или ноосферы), предложенные их основоположниками, существенно различались между собой. Однако у них имелось некоторое общее содержание – вера в силу разума (не только человеческого) и представление разума в качестве главного движущего механизма последующей (уже «разумной») эволюции. Хотя термин «ноосфера» употреблялся К.Э. Циолковским, тем не менее он также говорил о роли разума во Вселенной, полагая, что мысль станет не только геологическим фактором (о чем писал В.И. Вернад-

ский), но и решающим фактором в эволюции космоса. В процессе реального прогресса на пути в ноосферу наука будет играть доминирующую роль, как и сопряженные с ней интеллектуально-духовные и нравственно-культурные формы деятельности. В будущей ноосфере социально-информационные факторы окажутся более важными и определяющими развитие по сравнению с материально-энергетическими составляющими, формируя сферу разума ноосферогенезом. Ноосферогенез, зарождаясь в отдельных местах, странах и регионах планеты, обретает глобальное измерение и становится планетарным процессом. Созидание сферы разума должно активно влиять на процессы глобализации, рационализируя их нравственно-справедливым началом и способствуя гармонизации отношений в системе «человек – общество – природа».

В настоящее время все более утверждается точка зрения, что для оптимального ноосферогенеза как планетарного процесса необходимо сохранение биосферы и обеспечение максимально возможной ее естественной эволюции. Именно биосфера является тем фундаментом существования всей жизни на планете и дальнейшего развития разума, если последний создаст механизмы существенного снижения антропогенного давления на природную среду. В.И. Вернадский выдвинул идею становления ноосферы и социальной автотрофности в качестве главного направления дальнейшего развития человечества. Его последователи (особенно в современной России) существенно развили идеи ученого и показали, что эпоха становления ноосферы и переход мирового сообщества к устойчивому развитию – это процессы одного плана. Идея выживания и непрерывного (устойчивого) развития цивилизации как коэволюции (взаимосохранения и соразвития, взаимной адаптации) человека и биосферы означает вместе с тем и продвижение человечества к сфере разума, в которой будет обеспечено рациональное управление взаимодействием общества и природы. В процессе реального прогресса на пути в ноосферу наука будет, как и предполагал В.И. Вернадский (научная мысль как планетарное явление), играть приоритетно-доминирующую роль, формируя сферу разума. С помощью ноосферно ориентированной науки должна появиться УР-экспертиза (экспертиза на соот-

ветствие требованиям перехода к устойчивому развитию наподобие экологической), которая решала бы вопросы соответствия тех или иных важных решений и проектов целям и императивам стратегии устойчивого развития. Без такой экспертизы невозможно заранее с уверенностью говорить о таком соответствии даже в области экологии и тем более в области экономики, техники или социальной сферы, где заранее, без УР-экспертизы, трудно определить, в каком направлении (старой или новой модели) разворачивается конкретная деятельность.

Сохранение биосферы и выживание человечества определяют основные принципы становления ноосферы (ноосферогенеза), которые в обобщенном виде сводятся к различным принципам.

Во-первых, это *принцип коэволюции общества и природы*, то есть их совместного сохранения и развития, когда человечество может неопределенно долго существовать на планете, а биосфера, благодаря существенному снижению антропогенного давления, сохранит свою устойчивость и будет эволюционировать по своим законам.

Во-вторых, это *принцип равных возможностей* в удовлетворении своих жизненно важных потребностей (в том числе в экологических условиях и природных ресурсах) для нынешних и будущих поколений.

В-третьих, это *принцип справедливости* в широком смысле слова, который нередко в документах ООН считается главным принципом устойчивого развития. Справедливость до недавнего времени мыслилась как соответствие между действиями людей и их общественным признанием. Однако социальное расширение принципа справедливости требует дальнейшего уже социоприродного понимания, а именно: некоторые черты справедливости должны быть перенесены и на все живые существа, которые человек не может безнаказанно использовать в своих целях и даже уничтожать.

В-четвертых, это *приоритет нравственно-справедливого разума и интеллектуально-духовных потребностей и ценностей над материально-вещественными*. Устойчивое развитие только тогда становится развитием но-

осферным (ноосферогенезом), когда оно одухотворено нравственным разумом экогуманистической ориентации и именно он оказывается приоритетным средством последующего непрерывного развития цивилизации в гармонии с окружающей природной средой.

Следует заметить, что понятия духа, духовности отличаются от понятий разума, рассудка, интеллекта, поскольку первые не акцентируют свое внимание на рациональном постижении мира. Духовность противоположна материально-природному, а не иррациональному. Эти отличия обсуждаемых понятий приводят к выводу о том, что в ходе ноосферогенеза будет возрасть не просто рациональное, а именно рационально-нравственное начало. Можно ожидать, что ноосферогенез будет сопряжен с появлением новой формы рационализма – ноосферного рационализма, а также с новыми формами рациональности, выражающими роль разума в повышении эффективности социальной деятельности. Предполагается, что появление новых версий рационализма связано с теми или иными формами рациональности. Так, уже в технократическом рационализме появляются новые принципы рациональности, в чем-то отличные от предшествующих. Переломный период в современной науке и культуре существенно расшатывает основания как прежних версий рационализма, так и соответствующих форм рациональности, поэтому современный рационализм, все больше учитывая требования времени, оказывается четко связанным с выживанием цивилизации и решением глобально-экологических проблем. Еще в большей мере это относится к предполагаемым более адаптивным формам рационализма, связанным со становлением ноосферы.

Между проектированием будущей ноосферы и стихийным естественно-историческим процессом появляется некоторый временной цивилизационный разрыв, обусловленный необходимостью позитивного решения мировым сообществом глобальных проблем. Это решение потребует отказа от старой модели цивилизационного развития, которое неумолимо ведет к глобальной катастрофе и формированию вначале в теории, а затем и на практике новой модели развития, которое должно стать глобально управляемым. Фактически, речь не идет

об устранении всех стихийных и естественных процессов, а лишь тех из них, которые ведут к гибели человечества и окружающей его природы. Управление также будет связано с формированием новых черт будущей реальности, то есть с историческим творчеством, социально-технологическим проектированием, созданием того нового, что требует модель ноосферы и вместе с тем еще по силам и средствам человечеству XXI в.

Концепция коэволюции. Под коэволюцией (соразвитием, сопряженным развитием) понимается развитие двух и более систем во взаимодействии, вызывающее развитие самого взаимодействия (его форм и механизмов) во времени. Основным достижением коэволюционных процессов является гармонизация взаимоотношений систем. Коэволюционные процессы обнаруживаются на самых различных уровнях организации материи и являются сегодня объектом внимания разных областей знаний. Понятие коэволюции, зародившись в науках о жизни («коэволюция симбионтов», «коэволюция хищника и жертвы» и др.), переживает в настоящее время интенсивное распространение.

Концепция коэволюции показательно работает, например, на уровне экологии организмов, объясняя развитие системы «хищник – жертва» – постоянное совершенствование и того и другого компонента системы. В системе «паразит – хозяин» естественный отбор теоретически должен способствовать выживанию менее вирулентных (не опасных для хозяина) паразитов и более резистентных (устойчивых к паразитам) хозяев. Постепенно паразит становится комменсалом, то есть безопасным для хозяина, а затем они могут стать мутуалами – организмами, которые способствуют взаимному процветанию, как грибы и фотосинтезирующие бактерии, вместе образующие лишайники. Но так происходит не всегда. Паразиты являются неизбежной, обязательной частью каждой экосистемы. Коэволюционная «гонка вооружений» способствует большому разнообразию экосистем. Паразиты препятствуют уничтожению хозяевами других видов. Концепция коэволюции объясняет факты альтруизма у животных: заботу о детях, устранение агрессивности путем демонстрации «умиротворяющих поз», повиновение вожака, взаимопомощь в трудных ситуациях и т.п.

Козволюция является наиболее эволюционно выгодным вариантом взаимоотношений систем в триаде «сосуществование – взаимодействие – козволюция». Наиболее сильные взаимодействия – однознаковые: конкурентные ($-; -$) и симбиотические ($++; +$). В природе проявляются все возможные сочетания знаков положительного, отрицательного и нейтрального воздействия систем друг на друга ($++; -; 0$). Наиболее прогрессивный результат приносит симбиоз ($++; +$) – взаимовыгодное сотрудничество. В эволюционном плане этот вариант взаимоотношений явно выгоднее всех остальных и способен привести в конечном счете козволюции к появлению и развитию новых форм жизни как на организменном, так и на клеточном уровне (симбиогенез).

На общепланетарном уровне организации можно говорить о козволюции оболочек планеты – геосфер. Каждая геосфера пространственно охватывает определенную часть планеты и в общем модельном виде имеет очертания оболочки («сферы»). Геосферы являются основными элементами Земли и в совокупности определяют структурно-функциональное единство планеты как сложнейшей системы. При козволюции геосфер действует закономерность проявления козволюционного резонанса: для реализации козволюционных возможностей двух систем необходимо совпадение во времени определенных параметров обеих систем. Например, предполагается, что в раннем докембрии последовательно во времени возникали различные варианты прокариотных форм жизни, но в тех условиях среды не получали развития. Реализация удалась, только когда во времени совпали два параметра: появление в биосфере очередного варианта эукариотных систем и достижение необходимой для обеспечения рентабельности эукариотного механизма концентрации кислорода в атмосфере – точки Пастера (что в свою очередь также является следствием развития биосферы). Сходная ситуация предполагается и в отношении происхождения многоклеточных.

Попытки рассмотрения вопросов взаимодействия и козволюции конкретных оболочек предпринимались в трудах Н.Н. Моисеева, Н.П. Юшкина, Г.И. Худякова, Е.Н. Князевой и С.П. Курдюмова. Наибольшее распространение по-

лучила концепция «коэволюции человека и биосферы» («коэволюции природы и общества») Н.Н. Моисеева. Изучается и более сложная система коэволюционных процессов на планетарном уровне – не двух (человека и биосферы, природы и общества, минерального и живого и т.п.), а по крайней мере трех самостоятельных планетарных структур, рассматриваемых в качестве основных геосфер: физических оболочек планеты («гео»), живого вещества («био») и разумной мысли («ноо»).

8.6. Система «человек – биосфера» и процессы глобализации

Функционирование биосферы обеспечивается тем, что живое вещество включается в биотический круговорот, не нарушая основных принципов его организации, и лишь в процессе появления и развития человека начинают постепенно нарушаться исторически сложившиеся природные циклы, подрывая тем самым биологические основы существования живого.

В процессе «неолитической революции» – переходе от присваивающего к производящему хозяйству, когда первочеловек не только собирал дары природы, но и вел примитивное земледелие и скотоводство, фиксируются первые очаги экологической напряженности. Появление огня и первых форм деятельности позволило активизировать роль человека в природе. Расчеты некоторых исследователей показывают, что деятельность первобытного человека могла привести к исчезновению ряда видов крупных млекопитающих (мамонтов и др.); соответствующие негативные экологические процессы носили локальный характер.

В процессе становления и развития современных форм цивилизации, начиная с промышленной революции XVIII в., особенно к началу XX в., человек становится силой «планетарного масштаба» (В.И. Вернадский). Производственно-хозяйственная и социокультурная деятельность человечества оказывает все более негативное воздействие на биосферу. К началу 70-х годов XX в. сформулировано представление на уровне мирового сообщества (Конференция ООН по окружающей среде, Стокгольм, 1972), в соответствии с которым чело-

вещество приближается к опасной черте во взаимоотношениях с биосферой: увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере и тенденция к повышению среднестатистической планетарной температуры; рост «озоновых дыр»; увеличение выбросов в биосферу продуктов человеческой деятельности; быстрые темпы исчезновения традиционных видов флоры и фауны; ухудшение условий качества жизни человека.

Анализ мировых социально-экологических процессов позволил сделать вывод, что сохранение современных тенденций мирового развития приведет в конце XXI столетия к исчерпанию природных ресурсов, загрязнению биосферы и в конечном счете к экологическому коллапсу (доклад Римского клуба «Пределы роста», 1972). Однако глобальный характер экологической проблемы имеет и региональные особенности. В развитых странах значительная часть экономического потенциала (более 2% ВВП) направляется на экологические цели. В результате, несмотря на противоречия развития рыночных отношений, система «человек – биосфера» в большинстве развитых стран постепенно стабилизируется. Напротив, в развивающихся странах слабая экономика и высокий демографический рост не создают позитивных условий для преодоления остроты биосферной напряженности. Непросто складывается решение проблем охраны окружающей среды в условиях новой России. Экономические трудности не позволяют выделять необходимые объемы природоохранных капиталовложений (на эти цели выделяется меньше 1% ВВП). В итоге во многих регионах России экологическая ситуация носит напряженный характер.

Проблема «человек – биосфера» имеет глобальный характер, и экологические проблемы, затрагивая в большей или меньшей степени большинство стран мирового сообщества, требуют реализации принципов сочетания национальных, региональных и международных программ рационального использования природных ресурсов и охраны природы. Глобализация как естественно-исторический стихийный процесс началась с тех пор, когда у человечества появилось стремление стать единой цивилизацией. Как феномен глобализация носит системный характер, поскольку один из главных ее результатов – обретение

человечеством своего единства. Однако это должно в конечном счете оказаться социоприродным единством, реализующим цель выживания цивилизации, решения глобальных проблем и ликвидации угроз и опасностей существованию цивилизации. Глобализация с этих позиций представляется некоторым новым этапом в процессах смены цивилизационных форм, этапов и периодов развития, которые рассматривались бы как развитие единого человечества. Столкновение тех или иных тенденций цивилизации с планетарными пределами и порождает глобальные проблемы, которые можно было бы считать завершением «экстенсивной» и «доглобальной» истории цивилизации.

Глобализацию нельзя рассматривать лишь как процесс. Это одновременно и закономерность человеческой истории, так как она выражает объективно реальную устойчивую, необходимую и существенную связь в системе «человек – общество – природа», выражающуюся в обретении этой системой своей глобальной социоприродной целостности. Целесообразно расширить понимание процесса глобализации, придав этому понятию социоприродное измерение. Такое системное расширение необходимо сделать и по существу исследования проблемы «глобализация», особенно учитывая перспективы ее развертывания через устойчивое развитие. Если переход к устойчивому развитию оказывается решением глобальных проблем, то поворот глобализации на цели этого развития также будет способствовать выживанию цивилизации и сохранению биосферы. В известной степени глобализацию через устойчивое развитие можно трактовать как своего рода «опережающую» глобализацию, отличающуюся от «отстающей» глобализации в модели неустойчивого развития. Поскольку благодаря переходу к устойчивому развитию необходимо в большей мере учитывать возможности удовлетворения потребностей и интересов будущих поколений, то очевиден поворот вектора глобализации в сторону будущего. Именно поэтому глобализация через устойчивое развитие окажется целенаправленной социоприродной футуризированной деятельностью всего мирового сообщества.

В современной обществоведческой литературе существует ряд теоретических построений и среди них – концепции постиндустриального общества,

информационного общества, общества риска, экологического общества, ноосферы и т.д. Характерной особенностью всех этих концептуальных образований является то, что они совместимы с процессами глобализации и каждая концепция претендует на то, чтобы видеть будущее в границах своего предметного поля, и чаще всего подобное видение связано с той или иной тенденцией глобализации. Вместе с тем далеко не каждое из этих направлений соответствует модели и стратегии устойчивого развития, поскольку они были выполнены в рамках предыдущей модели, поэтому исторический и исследовательский выбор оказывается связанным с упомянутой нормативно-целевой моделью будущего социоприродного развития.

Существует точка зрения, что постиндустриальное общество и общество с устойчивым развитием – это фактически одно и то же. Между тем именно постиндустриальное общество является завершающей стадией модели неустойчивого развития, под которой понимается социум с производственно-некоэволюционным способом взаимодействия с природой. Постиндустриальное общество на определенном этапе своего развития может стать предпосылкой и стартовой площадкой к переходу к «устойчивому обществу», если оно начнет реализовывать принципы этого последнего, имеющие глобальный характер. К устойчивому развитию должны переходить все страны мирового сообщества, независимо от того, на какой стадии развития они находятся – аграрной, индустриальной или постиндустриальной. Мостом от постиндустриального общества к устойчивому развитию является информационное общество, которое при определенных трансформациях сможет пройти испытание на критерии устойчивого развития. Достаточно обоснованным считается предположение о том, что информационное общество продолжит свое развитие в дальнейшем процессе глобализации. Информационное общество вначале развивается стихийно, в рамках естественноисторического процесса становления постиндустриального общества, но на определенном его этапе будут созданы необходимые глобальные предпосылки и условия, связанные с новыми информационными и телекоммуникационными технологиями и соответствующей инфра-

структурой, благодаря которым возникнет планетарно-космическое киберпространство, позволяющее принимать решения и на глобальном уровне.

8.7. Полимеры и среда обитания человека

Характерной чертой современной экологии (или мегаэкологии) является то, что она из строго *биологической науки* превратилась в комплекс наук, представляющий собой цикл знаний, вобравший в себя разделы различных естественных и гуманитарных наук. В настоящее время стратегия в решении экологических проблем, обусловленных влиянием высокомолекулярных соединений на свойства Земли, включает изучение способов обращения отходов полимерной промышленности, исследование кинетики и механизмов процессов синтеза полимеров, обладающих повышенной экологической чистотой, разработку малоотходных технологий получения полимеров и их использования и т.п.

Актуальность проблем охраны окружающей среды, связанных с производством и применением полимеров, заключается, с одной стороны, с их незаменимостью (благодаря уникальности их физико-химических и потребительских свойств), а с другой стороны, с огромными объемами их производств и изделий из них, которые в результате переходят в разряд отходов, опасных для окружающей природной среды. В частности, большое количество полиэтилена перерабатывается в пленочные материалы, которые встречаются в быту ежедневно, – это упаковочные материалы (пакеты и сумки для продуктов, различные контейнеры для хранения разнообразных жидкостей – от воды до минеральных масел), которые после использования выбрасывают, чем нарушают естественный круговорот веществ в природе. Проблема усугубляется еще и тем, что промышленные синтетические полимеры, такие как полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиамиды, полиэфир и другие в обычных условиях являются весьма устойчивыми химическими соединениями. Многие из них способны выдерживать воздействие солнечного излучения и кислорода воздуха в совокупности с воздействием тепла и влаги в природных условиях в течение десятков лет без заметного химического разрушения. Из полимеров, подверга-

ющихся разрушению, образуются фрагменты, которые сохраняются довольно длительное время в окружающей среде и загрязняют ее в течение многих лет.

Какие же подходы используют для борьбы с загрязнением природы, связанным с производством полимеров? Во-первых, это уничтожение отработавших и выброшенных полимеров. Самым естественным могло бы быть окисление этих органических веществ, протекающее при высоких температурах (сжигание). Однако при этом уничтожаются ценные вещества и материалы. Продуктами сжигания в лучшем случае являются вода и углекислый газ, а это значит, что не удастся вернуть даже исходных мономеров, полимеризацией которых получали уничтожаемые полимеры. Кроме того, выделение в атмосферу больших количеств углекислого газа (CO_2) приводит к глобальным нежелательным эффектам, в частности к парниковому эффекту. При сжигании образуются вредные летучие вещества, загрязняющие воздух, воду и почву (в некоторых случаях могут распространяться на различные глубины земной коры). Например, в случае поливинилхлорида – это разнообразные низкомолекулярные хлорированные органические вещества, отличающиеся высокой токсичностью, в том числе канцерогенностью; образуется и газообразный хлористый водород, дающий при растворении в воде соляную кислоту. Даже сжигание полиэтилена, макромолекулы которого состоят из атомов углерода и водорода, а продуктами сжигания являются вода и углекислый газ, совсем небезопасно. Использование многочисленных добавок, в том числе красителей и пигментов, выделяющих в окружающую среду разнообразные соединения, включающие тяжелые металлы, которые используются в качестве катализаторов при синтезе полиэтилена, также крайне вредно для здоровья людей. Уничтожение же продуктов сжигания совершенно неэффективно с экономической точки зрения.

Значительно более перспективным и разумным способом снижения загрязнения окружающей среды полимерами является вторичная переработка отслуживших свой срок полимеров и изделий из них. Однако проблема эта не столь проста, как может показаться на первый взгляд, хотя бы уже потому, что мы имеем дело, как правило, с грязными отходами, в которые входят, напри-

мер, частицы песка, что исключает возможность применения высокотехнологичного оборудования, используемого при первичной переработке исходных полимеров. Это оборудование просто быстро вышло бы из строя из-за абразивного воздействия твердых частиц минерального происхождения, но даже при переработке, если она возможна вообще, получаются «грязные» изделия, товарный вид и потребительские свойства которых не могут конкурировать с первичными изделиями. Вместе с тем существует возможность использования продуктов вторичной переработки по другому назначению, предполагающему существенно сниженные требования. В частности, загрязненные изделия из полиэтилена могут быть переработаны в пластины толщиной в несколько миллиметров для применения в качестве кровельного материала, имеющего ряд неоспоримых преимуществ перед традиционными, таких, как низкая плотность, а значит, малый вес, гибкость и коррозионная стойкость, а также низкая теплопроводность и хорошие теплоизолирующие свойства. Наибольшие успехи в этом достигнуты при вторичной переработке крупнотоннажных изделий из каучуков, при этом качество полученных «вторичных» шин практически не уступает исходным. Такой подход позволяет одновременно заметно снизить вред для окружающей среды из-за ее замусоривания бесполезными изделиями и в то же время значительно экономить расход каучуков, получаемых либо полимеризацией продуктов переработки нефти, либо из латексного сока деревьев гевеи.

В последние годы начали практически реализовываться новые идеи синтеза «экологически чистых» полимеров и изделий из них. Это касается прежде всего полимеров и материалов из них, способных более или менее быстро разлагаться в природных условиях. Следует при этом заметить, что все биологические полимеры, то есть полимеры, синтезируемые растениями и живыми организмами, к числу которых относятся в первую очередь белки и полисахариды, в той или иной степени подвержены разрушению, катализаторами которого являются ферменты. В этих случаях соблюдается принцип: что создает природа, то она способна и разрушить. Если бы этот принцип не срабатывал, то те же полимеры, в огромных количествах производимые микроорганизмами, расте-

ниями и животными, после их гибели оставались бы на земле. Но этого не происходит, и высокоэффективные биологические катализаторы (ферменты) делают свое дело и успешно справляются с этой задачей. Что касается синтетических полимеров, то природа еще не выработала эффективных средств и механизмов их разложения. В лучшем случае можно рассчитывать, что некоторые ферменты, ответственные за быстрое и избирательное разрушение природных органических веществ, смогут делать то же самое и в отношении синтетических полимеров, в состав которых входят соответствующие функциональные группы. Одним из эффективных способов получения экологически чистых полимеров могут быть процессы полимеризации в отсутствие поверхностно-активных веществ (например, полимерные дисперсии, не содержащие эмульгаторы).

К синтетическим полимерам, склонным к биоразложению, относятся сложные полиэфиры. Число звеньев в цепи полимеров, называемое степенью полимеризации, составляет приблизительно 100. Если эти полимеры закопать в землю на четыре недели, а затем извлечь и взвесить, то окажется, что их вес уменьшается в среднем на 20%. Это характерно для катализируемого ферментами гидролиза, продуктами которого являются низкомолекулярные вещества, растворимые в воде и диффундирующие в окружающее пространство. Этот процесс протекает на поверхности твердого образца, поскольку ферменты, будучи белками, то есть природными полимерами, не способны проникать в объем образца полиэфира, который приготавливают в форме пленки. Источником таких ферментов служат грибки, обитающие в почвах. Одновременно с этим в объеме образца протекает и химический гидролиз, то есть разрушение сложноэфирных связей полимерных цепей молекулами воды, способными проникать внутрь образца полимера. Этот процесс сопровождается разрывом цепей в любом месте с равной вероятностью. В результате химического разрушения образуются осколки цепей, имеющие молекулярную массу (или степень полимеризации) того же порядка величины, что и исходные макромолекулы, и неспособные растворяться в воде. В итоге наблюдается уменьшение молекулярной массы полимера и ухудшение механических свойств образца.

В том случае, если в полимерной цепи нет «слабых связей», способных расщепляться ферментами или подвергаться химическому разрушению в природной среде, дело обстоит гораздо сложнее. Типичный пример такого рода – полиэтилен, цепи которого образованы атомами углерода.

Этот полимер, если его степень полимеризации превышает 20–30, не подвергается расщеплению ферментами и не используется в пищу микроорганизмами. В то же время известно, что короткие цепи полиэтилена с $n < 20$ в действительности служат пищей (субстратами) для определенной группы микроорганизмов, насчитывающей более 100 разновидностей. Такой процесс с точки зрения химии представляет собой последовательные химические превращения, катализаторами каждого из которых является определенный фермент Ei . Предполагается, что в результате превращений образуется уксусная кислота, которая используемая микроорганизмами как пища и исходный строительный материал. Ясно, что если осуществить разрушение высокомолекулярного полиэтилена, применяемого для получения разнообразных материалов и имеющего степень полимеризации $n > 1000$, на более короткие фрагменты с $n < 20$, то дальнейшее расщепление его могут осуществлять микроорганизмы, обитающие в природной среде. Для того чтобы длинная цепь полиэтилена в природных условиях могла расщепляться на относительно короткие фрагменты, в нее при синтезе полимера вводят «слабые связи», которые под действием солнечного света, его коротковолновой составляющей, называемой ультрафиолетовой, в присутствии кислорода и влаги атмосферы способны разрушаться с заметной скоростью. Образующиеся в результате химического разрушения фрагменты способны, в свою очередь, подвергаться биоразрушению.

В последние годы разработаны и другие приемы, позволяющие получать биоразрушаемые полимерные материалы, не требующие вмешательства в процесс синтеза макромолекул. Другие подходы опираются на получение смесей из устойчивых полимеров (например, полиэтилен) и биоразлагаемых (например, крахмал). Если ввести в такую смесь на стадии переработки полиэтилена в изделия достаточное количество крахмала, то он будет разлагаться микроорга-

низмами при попадании материала в почву. При этом в изделии (пленке) будет оставаться полиэтилен, который диспергируется на мелкие частицы и исчезает. Очевидно, что наилучшим решением проблемы экологически чистых полимерных материалов было бы использование природных полимеров, для разрушения которых природой выработаны эффективные механизмы. Такие полимеры в избытке находятся в растениях и в живых организмах. В первом случае это хорошо известная целлюлоза – полимер высокой молекулярной массы, из которого примерно на половину состоит древесина. В случае живых систем – это главным образом белки – полимеры альфа-аминокислот. В их цепях в строго определенном для каждого вида белка порядке и количестве расположены остатки альфа-аминокислот, число которых составляет сотни и тысячи.

Широко известными полимерными материалами, построенными из белков, являются шерсть, шелк, кожа. Как целлюлоза, так и шерсть, попадая в окружающую среду, подвергаются химическому разрушению, а также разлагаются и используются в пищу различными микроорганизмами, например бактериями и грибами, являющимися неотъемлемыми компонентами «живой» почвы, то есть биоразлагаемыми веществами. Биоразрушение – это химическое расщепление, вызываемое биохимическими реакциями, в первую очередь катализируемыми ферментами, которые синтезируют микроорганизмы. Реакции могут протекать как в присутствии, так и в отсутствие кислорода воздуха. Однако эти природные полимеры не могут заменить широкого ассортимента современных синтетических полимеров, поэтому ученые непрестанно ищут возможности расширить количество полимеров, синтезируемых живой природой. Заметим, что помимо «экологической чистоты» таких полимеров, они обладают несомненными преимуществами перед синтетическими, поскольку получают из так называемого «возобновляемого сырья» – растений и живых организмов, которые непрерывно воспроизводятся, в то время как синтетические полимеры получают из продуктов переработки нефти, а ее запасы на земле ограничены.

Поиски новых полимерных материалов природного происхождения в последние годы привели к очевидным успехам. Удалось обнаружить бактерии,

живущие в почве, и способные синтезировать полимеры в качестве внутриклеточного резервного материала. Весьма перспективными среди таких полимеров являются некоторые полиэфиры, свойства которых зависят от длины боковой группы $-R$ и изменяются от характерных для жестких пластиков до типичных для каучуков. В этих пределах можно тонко изменять свойства полимеров, смешивая в одной и той же макромолекуле звенья, имеющие различные боковые группы $-R$. Для того чтобы бактерии, синтезирующие такие полимеры, включали в их цепи различные группы $-R$ в заданном соотношении, нужно правильно составлять рацион питания бактерий.

Для чего же бактерии синтезируют полимеры? Оказывается, что они заготавливают их впрок, если поставить их в «тяжелые» условия, в которых они вынуждены из всех сил бороться, чтобы выжить. Если условия жизни бактерий нормальные, то они используют широкую гамму органических веществ, перерабатывая их для производства необходимой для жизни энергии и создания материалов и веществ, необходимых для строительства клеток, и ничего не заготавливают впрок. Если же этим бактериям «подсунуть» неподходящую пищу, то они начнут нарабатывать рассмотренные выше полимеры и откладывать их внутри клетки. Гранулы полимера внутри таких клеток легко обнаружить с помощью электронного микроскопа.

После разрушения клеток находящийся в них полимер отделяют от клеточной массы и перерабатывают. Очень важно, что такие бактериальные полиэфиры можно перерабатывать в пленки, волокна и изделия, используя то же оборудование, что и для переработки обычных синтетических полимеров. При этом легко заставить одни и те же бактерии производить широкую гамму полимерных продуктов с заданными свойствами. В настоящее время во всех развитых странах созданы промышленные ферментеры, то есть аппараты, в которых выращивают бактерии в промышленных масштабах.

Как же распоряжается сама бактерия с накопленным полимером и когда она это делает? Бактерия потребляет этот полимер в пищу в качестве субстрата, когда в окружающей среде уже не может найти пищи. Она подвергает этот ре-

зervный полимер ферментативному расщеплению и использует продукты гидролиза в качестве источника энергии и пищи для того, чтобы выжить. В окружающей нас среде, в том числе в почве, живет множество микроорганизмов, выделяющих ферменты, способные, как и внутриклеточные, расщеплять бактериальные полиэферы, поэтому отработавшие свой срок и выброшенные изделия из этих полимеров подвергаются в природе полному биологическому разрушению.

8.8. Концепция устойчивого развития

Начало третьего тысячелетия совпало с необходимостью перехода человечества на новую форму развития, именуемую в англоязычной литературе как *sustainable development*, а в русскоязычной – как устойчивое развитие. Неизбежность перехода любой страны на планете к устойчивому развитию вытекает из необходимости решения общих для мирового сообщества глобальных проблем. Новая цивилизационная модель возникла как попытка найти общую концептуальную платформу совместного выживания народонаселения планеты, выхода из глобального (и особенно экологического) кризисного состояния, недопущения мировой катастрофы – омницида (гибели всего живого).

Проблемами экологического характера XXI в. считаются следующие: изменение климата в результате выброса парниковых газов, недостаток и загрязнение пресной воды, исчезновение лесов и опустынивание, сокращение биоразнообразия, рост численности населения (и его перемещение), удаление отходов, загрязнение воздуха, деградация почв и экосистем, химическое загрязнение, истощение озонового слоя, урбанизация, заметное уменьшение природных ресурсов, нарушение биогеохимических циклов, распространение заболеваний (включая появление новых) и т.д. Многие из них могут привести к гибели человечества и биосферы.

Человечество столкнулось с обостряющимися противоречиями между своими растущими потребностями и неспособностью биосферы обеспечить их, не разрушая окружающую среду. Идеи устойчивого развития отвечают объек-

тивному требованию времени и могут решающим образом повлиять на будущее каждой страны мирового сообщества, сыграть важную роль в определении государственных приоритетов, стратегии социально-экономического развития и перспектив дальнейшего реформирования страны.

Термин «устойчивое развитие» получил широкое распространение после публикации доклада, подготовленного для ООН в 1987 году специально созданной в 1983 году Международной комиссией по окружающей среде и развитию, возглавляемой премьер-министром Норвегии Гру Харлем Брунтланд. В русском издании этой книги английский термин «sustainable development» переведен как «устойчивое развитие», хотя в англо-русских словарях имеются и другие его значения – поддерживаемое, длительное, непрерывное, подкрепляемое, самоподдерживаемое, защищаемое (развитие). На ЮНСЕД широко использовалась дефиниция, которая была приведена в книге «Наше общее будущее»: «...устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Это прозвучало и в «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», где под устойчивым развитием подразумевается «стабильное социально-экономическое развитие, не разрушающее своей природной основы». Далее оно конкретизируется: «Улучшение качества жизни людей должно обеспечиваться в тех пределах хозяйственной емкости биосферы, превышение которых приводит к разрушению естественного биотического механизма регуляции окружающей среды и ее глобальным изменениям». Весь мир стоит на пороге не менее, а может быть и более фундаментальной – третьей (после агрокультурной и индустриальной) цивилизационной революции. Стратегия устойчивого развития не может быть создана исходя из традиционных общечеловеческих представлений и ценностей, стереотипов мышления. Она требует выработки новых научных, политических и мировоззренческих подходов, соответствующих не только современным реалиям, но и предполагаемым перспективам развития в третьем тысячелетии.

Понятие «устойчивое развитие» может определяться с помощью антропоцентрического и биосфероцентрического признаков. Под *антропоцентрическим* признаком в широком смысле понимается выживание человечества (страны) и способность (возможность) его дальнейшего непрекращающегося (устойчивого), непрерывно долгого развития, чтобы наши потомки имели бы не меньше возможности по сравнению с настоящими поколениями по удовлетворению своих потребностей в природных условиях и экологических условиях Земли и космоса. *Биосфероцентрический* (в общем случае – экологический) признак связан с сохранением биосферы (окружающей природной среды) как естественной основы всей жизни на Земле (и в космосе), с тем чтобы дальнейшее развитие человечества не происходило бы в экофобной форме. Таким образом, устойчивое развитие характеризуется следующими основными принципами:

- каждый человек имеет право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой, на жизнь в благоприятной для него окружающей среде;
- социально-экономическое развитие должно быть направлено на улучшение качества жизни людей в допустимых пределах хозяйственной емкости экосистем;
- развитие должно осуществляться не во вред окружающей природной среде и обеспечивать возможность удовлетворения основных жизненных потребностей как нынешних, так и будущих поколений людей;
- сохранение окружающей природной среды должно составлять неотъемлемую часть процесса устойчивого развития, в одно целое должны быть соединены экономическое развитие, социальная справедливость и экологическая безопасность, которые в совокупности определяют основные критерии развития;
- выживание человечества и стабильное социально-экономическое развитие должны базироваться на закономерностях биотической регуляции при сохранении биоразнообразия в биосфере;
- рациональное природопользование должно основываться на неистощи-

тельном использовании возобновимых и экономном использовании невозобновимых ресурсов, утилизации и безопасном захоронении отходов;

- экологобезопасное хозяйствование должно базироваться на усилении взаимосвязи экономики и экологии, формировании единой (сопряженной) экологизированной экономической системы развития;

- реализация надлежащей демографической политики должна направляться на стабилизацию численности населения и оптимизацию масштабов его деятельности в соответствии с фундаментальными законами природы;

- необходимо широкое использование принципа упреждения, то есть принятия эффективных мер по предупреждению ухудшения состояния окружающей природной среды, предотвращению экологических и техногенных катастроф;

- важным условием является искоренение бедности и предотвращение больших различий в уровне жизни людей;

- использование разнообразия форм собственности и механизма рыночных отношений должно быть ориентировано на гармонизацию социальных отношений при обеспечении общественной безопасности;

- в перспективе должно возрасти значение вопросов рационализации масштабов и структуры личного потребления населения;

- сохранение малых народов и этносов, их культур, традиций, среды обитания должно быть одним из приоритетов политики государства;

- развитие международного сотрудничества и глобального партнерства в целях сохранения, защиты и восстановления целостности экосистемы Земли должно быть подкреплено принятием государствами соответствующих международных соглашений и иных правовых актов;

- необходимы свободный доступ к экологической информации, создание соответствующей базы данных с использованием в этих целях глобальных и национальных коммуникаций и других средств информатики;

- в ходе развития законодательной базы следует учитывать экологические последствия предполагаемых действий, исходить из необходимости повышения

ответственности за экологические правонарушения, обеспечивать компенсации лицам, пострадавшим от загрязнения окружающей среды;

– выдвижению интеллектуально-духовных ценностей на приоритетное место по отношению к материально-вещественным должны способствовать экологизация сознания и мировоззрения человека;

– суверенные права каждого государства на разработку собственных природных ресурсов должны реализовываться без ущерба экосистемам за пределами государственных границ; в международном праве важно признание принципа дифференцированной ответственности государств за нарушение глобальных экосистем.

Формулирование новой стратегии развития означает постепенное соединение в единую самоорганизующую систему экономической, экологической, социальной и других сфер деятельности. В этом смысле устойчивое развитие должно характеризоваться (как минимум) экономической эффективностью, биосферосовместимостью и социальной справедливостью при общем снижении антропогенного пресса на биосферу. Согласно К.С. Лосеву, несущая емкость экосистем – это предельное допустимое возмущение локальной или глобальной экосистемы (биосферы) деятельностью человека, после превышения которого она прекращает функционировать как регулятор и стабилизатор окружающей среды. Формирование хозяйственной деятельности, не разрушающей биосферу, а ее сохраняющей, то есть не выходящей за пределы несущей емкости экосистем – одна из центральных задач становления будущего «устойчивого» общества. Биосфера с этой точки зрения должна рассматриваться уже не только как кладовая и поставщик ресурсов, а как фундамент и условия жизни, сохранение которых должно быть обязательным условием функционирования социально-экономической системы и ее отдельных элементов. Биосферосовместимая экономика пока выглядит как очередная утопия и неясны пути и механизмы ее формирования, которые устроили бы современную цивилизацию. Разрешение этого эколого-экономического противоречия видится в создании новой модели хозяйствования, «равновесной» или «устойчивой» экономики, базирующейся

на принципах всесторонней и полной интенсификации и экологизации.

Начало третьего тысячелетия (особенно XXI в.) может оказаться переломным в истории цивилизации, ибо на его протяжении должно разрешиться основное противоречие – быть или не быть человечеству. Переход к устойчивому развитию должен снять это противоречие в пользу выживания и дальнейшего непрерывного развития цивилизации, но в существенно измененной – биосферосовместимой форме, не разрушающей природную среду своего обитания, которая является естественной колыбелью любой жизни, в том числе и разумной.

Общие принципы перехода России на модель устойчивого развития.

Анализ рассмотренной проблемы позволяет сформулировать общие принципы перехода России на модель устойчивого развития. Их основу составляют такие понятия и категории, как исходная установка переходного периода, цели самого устойчивого развития, используемые средства для достижения основной цели, функции государственного аппарата, мониторинг окружающей среды, непрерывное и междисциплинарное экологическое воспитание и образование, активное участие общественности и даже эффективность внешней и внутренней торговли.

Исходная установка состоит в понимании того, что несмотря на относительное богатство России природными ресурсами, их запасы ограничены, а наиболее доступные и ценные из них могут быть исчерпаны довольно быстро. При этом емкость окружающей среды лимитирует дальнейшее увеличение выбросов вредных веществ и образование различных отходов. В исходную установку входит, кроме того, соблюдение равных прав всех видов популяций на жизнь, поскольку большинство организмов часто рассматриваются как ресурсы и даже источники сырья. Именно отказ от антропоцентризма означает необходимость применения экологических методов для практической реализации оптимального природопользования.

При ограниченных ресурсах основной целью развития должно быть их справедливое распределения между: 1) социальными группами населения; 2) населением разных регионов, этносами и народами России; 3) настоящим и бу-

дущими поколениями. Такой цели устойчивого развития должно соответствовать распределение прав собственности на ресурсы, при котором каждый ресурс имеет своего собственника; права собственности четко фиксированы законом; существует судебная защита прав собственности; наиболее высокие приоритеты имеют экологические ценности.

В качестве средств достижения баланса в системе «природа – производство – человек» и устойчивого развития этой системы могут быть рекомендованы следующие:

- создание резервных фондов на случаи чрезвычайных ситуаций;
- углубление разделения труда между разными регионами (обладающими разными сочетаниями природных ресурсов) и увеличение межрегионального товарообмена;
- значительное сокращение количества отходов и потерь энергии;
- выпуск долговечных материалов и товаров из них;
- уменьшение размеров производств;
- замена невозобновимых ресурсов возобновимыми.

Что касается обязанностей государства, то в них входят:

- постановка целей и задач развития;
- ответственность за организацию стабилизирующих реформ и контроль за ходом их проведения;
- ценовая политика, стимулирующая сокращение энерго- и материалоемкости производств;
- поддержка предприятий, выпускающих оборудование ресурсосберегающего назначения и для сохранения окружающей среды;
- разработка единой системы экологических, экономических и социальных показателей, соответствующих целям устойчивого развития;
- проведение дифференцированной политики в отношении освобождения от обычных таможенных сборов экспортируемых и импортируемых машин, оборудования, материалов, обеспечивающих повышение качества окружающей среды и сокращение потребления невозобновимых ресурсов.

Некоторые тенденции в развитии современного естествознания

Не надо застывать в сомнении, оно, напротив, должно двигать дух к дальнейшему исследованию и испытанию и, если они проходят на более совершенной и широкой базе, – истина одержит победу.

И. Гете

9.1. Экологизация науки: междисциплинарные взаимодействия

На различных исторических этапах развития естественных наук в качестве доминирующих выступали те или иные тенденции. В частности, развитие физики, биологии или исследования космического пространства оказывали существенное воздействие на ориентацию и характер естественных, технических и гуманитарных наук. В условиях «экологического десятилетия» (1972–1992) определяющий характер проблемы взаимоотношений человека, общества и биосферы в динамике всемирно-исторического развития цивилизации обусловил формирование новой тенденции – экологизации науки как проникновение экологических факторов в сложившуюся систему естествознания, техникзнания и человекознания. Выделяют три уровня экологизации:

- 1) *внутридисциплинарная экологизация* – выявление биосферных знаний в системе конкретной научной дисциплины;
- 2) *междисциплинарная экологизация* – формирование в традиционной системе наук новых дисциплин экологической направленности (в естествознании – экоматематика, экофизика, экохимия и т.п.; в техникзнании – экотехника, экибернетика, экосистематика и т.п.; в человекознании – экоэкономика, экоправо, экопсихология и т.п.);
- 3) *проблемная экологизация* – применение различных областей естественнонаучного знания для решения конкретной экологической задачи.

Особенности экофизики. В первой половине XX в. в процессе интерпретации объективной реальности доминировала физическая картина мира. При этом физико-математические методы исследований активно распространялись и на области других наук. Во второй половине XX в. при формировании объективной картины мира абсолютизация физико-математических представлений в определенной степени утратила свою традиционную эвристическую привлекательность.

Внутренняя логика развития современной физики позволяет сделать вывод, что ожидаемый качественный скачок в познании физической реальности может дать новый импульс теоретическим воззрениям и концептуальным построениям. Так, в середине 1990-х годов физика высоких энергий вышла на уровень новых представлений (антиатом, антипротон и т.п.), что значительно дополняло традиционную физическую картину мира. Кроме того, в физике в частности складывается ситуация, преодоление которой требует новых подходов, например, более фундаментальное использование биологических и экологических представлений при формировании новых физических воззрений. Под непосредственным влиянием биологических идей при анализе процессов микромира применяются характеристики, соответствующие саморазвивающимся системам. Это означает необходимость модификации физики при распространении ее понятий на процессы живой природы.

В наибольшей степени на экологизацию современного физического знания оказывают воздействие внешние факторы, являющиеся функцией конкретных условий (социальных, экономических, культурологических и т.п.). С одной стороны, это выражается в требовании «практизации» соответствующих физических исследований и разработок. Их развитие (и соответственно – финансирование) в большей мере связывается с разрешением жизненно важных для человечества проблем. С другой стороны, именно с развитием физического знания ассоциируется генезис негативных для человека и среды его обитания социально-экологических последствий. Мировой опыт свидетельствует, что все больше материальных, финансовых и интеллектуальных ресурсов вкладывается

в ориентацию физических исследований и разработок в направления, обеспечивающие высокий уровень безопасности атомных электростанций и других объектов техносферы, эффективную утилизацию радиоактивных отходов и т.п.

Следовательно, экологические идеи, представления и концепции в той или иной мере проникают в систему физико-математического знания, особенно в его прикладные сферы, как исходя из «внешней» необходимости, обусловленной социальными потребностями, так и в соответствии с внутренней логикой развития естествознания. Именно в этом контексте имеют смысл идеи «экологической физики», в процессе формирования которых концептуальные представления физического знания распространяются на анализ биосферных явлений и процессов, то есть с помощью физико-математических методов исследуются закономерности взаимоотношений живых организмов (и их сообществ) с окружающей средой.

От химии к экохимии. Химические процессы составляют одну из основ практического отношения к веществу природы. Под научной химизацией понимается активное использование законов химии для интенсификации обмена веществ в производственной динамике. Вместе с тем масштабная химизация ведет к тому, что в исторически сложившиеся экосистемы попадает все большее количество веществ и материалов, неприемлемых для биоты – ксенобиотиков. Степень и масштабы химического воздействия на естественные процессы и отношения приближаются к такому уровню, что под угрозой оказывается традиционная целостность и стабильность биосферы. Химическое знание и реализация его практических результатов во все большей мере проявляются, во-первых, в усилении деградационных изменений естественной среды обитания человека под воздействием выбросов технико-антропогенного характера и, во-вторых, в разработке средств, методов и технических условий, обеспечивающих развитие производственной деятельности в соответствии с современными социально-экологическими представлениями.

С развитием экологической химии (или химической экологии) связывается разработка как общих, так и конкретных направлений разрешения указанных

биосферных противоречий. Так, включение в естественную среду обитания полимерных материалов способствовало интенсификации разработок в области синтеза «исчезающих пластмасс» как веществ, разлагающихся под воздействием внешних факторов (вода, свет и др.) на сравнительно безопасные составные элементы. Показательна так же эволюция пестицидов. Если первые их поколения связаны с интенсивной аккумуляцией негативных факторов для человека и среды его обитания, то последующие модификации, обладая повышенной избирательностью и различной продолжительностью воздействия, более органично вписываются в биосферные процессы. Аналогичная модификация характерна и для хлорфторуглеродов (фреонов), участвующих в разрушении озонового слоя атмосферы Земли. В условиях усиления деградационных изменений естественной среды обитания, обусловленных в значительной мере увеличением масштабов выбросов веществ техногенного происхождения в биосферу, а также в результате обострения проблемы дефицита природных ресурсов, усилилась необходимость регенерации отходов. Определенные преимущества имеет ориентация на создание относительно замкнутых технологий, то есть доминирующее использование принципов рециркуляции. Еще большие перспективы открываются перед биотехнологиями, на основе которых осуществляется взаимосвязь химических и биологических (микробиологических) процессов и которые более или менее соответствуют биосферным связям и закономерностям.

Приоритет биологии. В середине XX в. произошли принципиальные открытия, связанные с радикальной трансформацией представлений о специфике биологических объектов, формированием фундамента современной молекулярной и генетической биологии. Прогресс биологических наук способствовал выявлению закономерностей развития живой природы, то есть более фундаментальному включению биологического знания в обобщенную научную картину мира. При этом современные биологические исследования не ограничиваются аналитическим подходом, а ориентируются на представления целостного характера, соответствующие специфике биологических объектов. В контексте социально-экологической ситуации биологические исследования приобретают

интегральный характер и биосферный масштаб, особенно учитывая их особую роль в разрешении наиболее актуальных проблем современности (продовольственной, демографической, экологической). Благодаря использованию методов генной инженерии становится реальным целенаправленное изменение исторически сложившихся органических форм, что важно для повышения производительности традиционных агроэкосистем, увеличения пищевых ресурсов человечества т.д. Закладывается прочный фундамент под современную медицину, генетическую и клеточную инженерию, иммунологию, микробиологический синтез и т.п., лежащих в основе медико-биологических исследований, обеспечивающих эффективность лечения генетических болезней, злокачественных опухолей и другое, тем самым создаются предпосылки для сохранения и увеличения биологического разнообразия.

Анализ «внешних» и «внутренних» факторов развития системы биологического знания позволяет зафиксировать состояние его известного онтологического (практического) преимущества по отношению к физике, имеющего, помимо прочего, и социально-экологический контекст. Во-первых, именно традиционная биология включает в свою структуру общую экологию, является одной из немногих дисциплин современного научного знания, обладающих историческим опытом анализа явлений и процессов в системе взаимоотношений живого организма и среды его обитания. Во-вторых, биологические науки, ассимилируя и развивая принципы исследований физико-математических областей знания, выявили как их универсальность, так и определенную ограниченность в интерпретации явлений и процессов биогенного характера. Включение экологических представлений повышает статус и значение интегративного подхода в естествознании, позволяя более четко определять возможности и ограничения редукционистского стиля мышления. В-третьих, биологические науки демонстрируют большую практичность по отношению к соответствующим результатам фундаментальных физических исследований и разработок. Для общественного сознания развитие физики ассоциируется с реальными трагическими последствиями Чернобыля, а биологии – с актуальными позитивными или нега-

тивными потенциальными фактами. В-четвертых, биологические науки имеют традиционную гуманистическую ориентацию, что значительно повышает их статус в условиях усиления «дегуманизации» физики и естествознания вообще.

Все это вовсе не означает наличие противопоставления системы физических и биологических наук. Более того, только лишь при их эффективном взаимодействии и взаимосвязи можно рассчитывать на дальнейшее выявление фундаментальных природных закономерностей, касающихся в том числе и системы «человек – биосфера». Таким образом, в условиях, когда естествознание ориентируется на разрешение экологической проблемы, происходит дальнейшее сближение физического и биологического знания. При снятии противоречий системы «человек – общество – биосфера» происходит, с одной стороны, усиление тенденции «практизации» физики, укрепляется ее направленность на разрешение глобальных проблем современности, включая и экологическую. С другой стороны, повышается уровень «теоретизации» биологии, обеспечивающей дальнейшее приращение знаний в области живого.

Роль наук о Земле. Среди естественнонаучных дисциплин, получивших особый стимул развития под воздействием современной экологической ситуации, следует считать науки о Земле. К сожалению, в иерархии современного научного знания дисциплины, относящиеся к наукам о Земле, традиционно считаются аутсайдерными. С ними обычно не связываются представления о фундаментальных исследованиях и разработках, способных (как это принято по отношению к физике, химии или биологии) произвести радикальные изменения в сложившейся картине мира. География и геология, ориентировались преимущественно на то, чтобы описывать и классифицировать пространственные природные системы. При этом не учитывалась в должной мере их временная эволюция. Именно этим обстоятельством возможно объясняется тот исторический факт, что в эпоху великих географических открытий XV–XVII вв. (когда возникла проблема пространственного изучения естественно-природных систем) именно география как лидер наук о Земле, выступила в качестве ведущей дисциплины естественнонаучного цикла. К началу XX в., когда актуализировалась

проблема временного рассмотрения природных систем, становилось все очевиднее ее «аутсайдерное» положение.

С одной стороны, науки лидирующего направления (например, физика), расширяя свои теоретические основания, закрепляли научный статус в формировании объективной картины мира. С другой стороны, дисциплины, подобные наукам о Земле, оставаясь преимущественно на описательном уровне, усиливали свое «аутсайдерное» положение в системе научного знания. Вместе с тем ассимиляция теоретических методов и представлений, вырабатываемых в рамках общего естествознания, имела фундаментальное значение и для развития наук о Земле, способствуя образованию соответствующих перспективных направлений (геофизика, геоэкология, математическая география, геохимия и т.п.). В настоящее время даже принято считать, что науки о Земле оказались лучше подготовленными к осмыслению противоречий системы «биосфера – человек». Возможности, которые предоставляют современные науки о Земле для успешного решения многих социально-экологических проблем, выдвигают их в группу ведущих дисциплин современного научного знания.

Безусловно, в условиях обострения противоречий в системе «человек – биосфера» и необходимости ответа на экологические вызовы цивилизации для наук о Земле, и прежде всего – геоэкологии и экогеографии, открываются поистине неограниченные как теоретические, так и практические возможности.

Эколого-биосферный контекст технических наук. Экологические законы, правила и концептуальные построения, активно проникая в структуру естественнонаучного знания, оказывают существенное воздействие и на характер развития технических наук. Это вполне закономерно, учитывая генетическую взаимосвязь естественнонаучного и технического знания. Иное дело, что на различных этапах исторического развития составляющие систему «естествознание – техникосзнание» имели различную степень и форму взаимодействия. Первоначально теоретическое естествознание не отделялось, в сущности, от технического знания. В явном виде система научных представлений не дифференцировалась, с одной стороны, на совокупность знаний о закономерностях

природных объектов и процессов, а с другой – о методах и способах их материализации с целью создания соответствующих реальных объектов. Эта тенденция начинает изменяться лишь в эпоху Нового времени. Формирование естественных наук и генезис машинной техники потребовали целенаправленного использования данных естествознания о природных структурах и закономерностях. Это привело к активной материализации естественнонаучного знания, отделению сферы технического знания.

Схематично взаимосвязь компонентов системы «естествознание – техникосзнание» развивалась следующим образом. С одной стороны, естествознание способствовало не только дальнейшему углублению научной картины мира, но и предоставляло технике более совершенные методы материализации выявленных природных закономерностей. С другой стороны, технические науки, повышая свое теоретическое обоснование, стимулировали новые направления научных исследований. При этом системе «естествознание – техникосзнание» присущи два таких взаимосвязанных процесса, как «сциентификация» технического знания (то есть развитие на основе внедрения результатов фундаментальных естественнонаучных исследований) и «технологизация» естественнонаучного знания (то есть создание технико-технологически ориентированных теорий). Именно на стыке естественных и технических дисциплин происходит прорыв в научно-технической сфере (микроэлектроника, биотехнология и др.).

Развитие технико-технологического знания и феномен его материализации оказывают все большее воздействие как на процессы имманентные, так и на социальную практику, включая социоприродные системы. Такое воздействие исторически имеет как негативную, так и позитивную направленность, что фиксируется в системе полярных отношений к научно-техническому развитию: технологический оптимизм (технофилия) и технологический пессимизм (технофобия). *Технологический оптимизм* – мировоззрение, в рамках которого абсолютизируются позитивные перспективы развития техники и технологии. *Технологический пессимизм* – мировоззрение, акцентирующее внимание на негативных моментах технико-технологического развития цивилизации. В за-

висимости от разных (объективных и субъективных) факторов в общественном сознании доминирует то одно, то другое мировоззрение.

Во второй половине XX и в начале XXI в. противоречивость технологического развития сохраняет свою историческую обусловленность. Во-первых, положительно оцениваются перспективы современного этапа научно-технического развития; во-вторых, все большее внимание уделяется технологическим факторам обострения социально-экологической ситуации. Технологический оптимизм, являющийся одним из основополагающих постулатов современной технократической цивилизации, не утрачивает своего эвристического статуса. По-прежнему фиксируется позиция, в соответствии с которой именно технология рассматривается как «ключ» к позитивному разрешению противоречий в системе «человек – биосфера». Перспективы экологического развития цивилизации связываются преимущественно с разработками технико-технологического характера. Однако с конца 70-х – начала 80-х годов XX в. под воздействием негативной направленности экологических процессов усиливается пессимистическая интерпретация перспектив технико-технологического развития.

Оптимизм, характерный для доминирующей в прошлом трактовки перспектив технико-технологического развития, отступает, столкнувшись с опасным обострением социально-экологических противоречий. Согласно современным представлениям, прогресс техники в современных формах может привести к созданию искусственной техногенной среды, которая враждебна человеку. При этом человек, утрачивая контроль над техническими системами, теряет и былую связь с природной средой.

9.2. Синергетика как новое междисциплинарное научное направление

Понятие «синергетика» было предложено в 1973 г. немецким физиком Г. Хакеном для обозначения направления, призванного исследовать общие законы самоорганизации – феномена согласованного действия элементов сложной си-

стемы без управляющего действия извне. Синергетика (от греч. *synergetikos* – совместный, согласованный, содействующий) – научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических, геолого-географических и др.) благодаря интенсивному (потокowому) обмену веществом, энергией и информацией с окружающей средой в неравновесных условиях. В таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень упорядоченности (уменьшается энтропия), то есть развивается процесс самоорганизации. Синергетика опирается на термодинамику неравновесных процессов, теорию случайных процессов, теорию нелинейных колебаний и волн.

Как верно подметил *Г. Хакен*, синергетику можно рассматривать как форум, на котором ученые разных дисциплин встретились друг с другом для того, чтобы обмениваться своими идеями, как справиться с большими системами.

Синергетика – не самостоятельная научная дисциплина, а новое междисциплинарное научное направление. Цель синергетики – выявление общих идей, методов и закономерностей в самых разных областях естествознания, а также социологии и даже лингвистики. Синергетическая модель самоорганизации является в настоящее время наиболее обобщающей и плодотворной объяснительной моделью, описывающей взаимные переходы порядка и хаоса в эволюции сложных систем. Современная синергетика представляет систему концепций, описывающих закономерности строения, функционирования и эволюции открытых систем.

Синергетика рассматривает возникновение и развитие *систем*. Существование систем немислимо без *связей*. Последние делят на прямые и обратные. Прямой называют такую связь, при которой один элемент (*A*) действует на другой (*B*) без ответной реакции. Примером такой связи может быть действие древесного яруса леса на случайно выросшее под его пологом травянистое растение или действие Солнца на земные процессы. При обратной связи элемент *B* отвечает на действие элемента *A*. Обратные связи бывают положительными и

отрицательными.

Обратная положительная связь ведет к усилению процесса в одном направлении. Пример ее действия – заболачивание территории (например, после вырубки леса). Снятие лесного полога и уплотнение почвы обычно ведет к накоплению воды на ее поверхности. Это дает возможность поселяться здесь растениям-влагонакопителям, например, сфагновым мхам, содержание воды в которых в 25–30 раз превышает массу их тела. Процесс начинает действовать в одном направлении: увеличение увлажнения – обеднение кислородом – замедление разложения растительных остатков – накопление торфа – дальнейшее усиление заболачивания.

Обратная отрицательная связь действует таким образом, что в ответ на усиление действия элемента *A* увеличивается противоположная по направлению сила действия элемента *B*. Такая связь позволяет сохраняться системе в состоянии устойчивого динамического равновесия. Это наиболее распространенный и важный вид связей в природных системах. На них прежде всего базируется устойчивость и стабильность экосистем. Пример такой связи – взаимоотношение хищников и жертв. Увеличение численности жертв как кормового ресурса создает условия для размножения и увеличения численности хищников. Они начинают более интенсивно уничтожать жертв и снижают их численность. В целом численность хищников и жертв синхронно колеблется в определенных границах. Другим примером в истории Земли является периодическое возникновение локального увеличения углекислого газа в атмосфере (например, вследствие активизации вулканической деятельности). За этим следовало повышение интенсивности фотосинтеза и связывание углекислоты в органическом веществе, а также более интенсивное поглощение ее океаном. Следующий пример представлен закономерностью в природе периодического повышения уровней почвенно-грунтовых вод. За этим следует увеличение их контакта с корневыми системами растений, повышение расходования на испарение растительностью (транспирацию) и возвращение грунтовой воды в исходное состояние.

Как было сказано, важным свойством систем является *эмерджентность* (англ. «эмердженс» – возникновение, появление нового), то есть свойства системы как целого не являются простой суммой свойств слагающих ее частей или элементов (например, несколько отдельно растущих деревьев не могут составлять «систему леса», поскольку не создают определенной среды – почвенной, гидрологической, метеорологической и т.д., и свойственных лесу взаимосвязей различных звеньев, обуславливающих новое качество). Недоучет эмерджентности может приводить к крупным просчетам при вмешательстве человека в жизнь экосистем или при конструировании систем для выполнения определенных целей.

В основе синергетического подхода к рассмотрению систем лежат три понятия: неравновесность, открытость и нелинейность.

Неравновесность – состояние системы, при котором происходит изменение ее макроскопических параметров, то есть состава, структуры, поведения.

Открытость – способность системы постоянно обмениваться веществом, энергией, информацией с окружающей средой и обладать как «источниками» (зонами подпитки энергией из окружающей среды), так и зонами рассеяния, «стока».

Нелинейность – свойство системы пребывать в различных стационарных состояниях, соответствующих различным допустимым законам поведения этой системы.

Синергетика рассматривает три типа *структур (паттернов)*: свободные, вынужденные и автопаттерны. Примером *свободных* структур могут служить вихри за вращающимся винтом, вихревые кольца при истечении из сопла, обычные дымовые кольца. Пример *вынужденных* паттернов – круговые конвективные ячейки, создаваемые круговой границей (в эксперименте силиконовое масло, содержащее алюминиевый порошок, подогревается снизу, при этом контейнер покрыт охлажденной стеклянной пластинкой, что исключает поверхностное натяжение и образование шестигранных ячеек Бенара). Под *автопаттернами* понимаются локализованные пространственные образования,

устойчиво существующие в диссипативных неравновесных средах и независимые (в конечных пределах) от граничных и начальных условий. Автопаттерны, в свою очередь, делятся на статические, в которых нет движения, стационарные – с постоянными движениями (могут, например, вращаться без изменения их внутренней структуры) и динамические, внутри которых происходят регулярные или хаотические изменения во времени.

Аттракторы – активные устойчивые центры потенциальных путей эволюции системы, способные «притягивать» и организовывать элементы системы и окружающей ее среды. Они могут рассматриваться исследователем как цели эволюционирующей системы, влияющие на направленность эволюционного процесса. Теория аттракторов позволяет понять возможности управления сложными системами. Аттракторы делят пространство всех возможных состояний системы на области притяжения, попав внутрь которых система неизбежно эволюционирует к соответствующему аттрактору. Этим обуславливается пороговость любого внешнего воздействия на систему. Воздействие может быть эффективным и изменять тенденции развития системы, только если оно переводит систему в область влияния другого аттрактора.

Процессы самоорганизации рассматриваются в синергетике как ключевые в жизни сложных систем. Сами системы при этом должны удовлетворять следующим положениям:

1. Самоорганизация – процесс эволюции системы от беспорядка к порядку. Естественно энтропия системы, в которой происходит самоорганизация, должна убывать. Однако это ни в коей мере не противоречит закону возрастания энтропии в замкнутой системе, то есть второму началу термодинамики. Процессы самоорганизации происходят в открытых системах. Если самоорганизация происходит в замкнутой системе, то всегда можно выделить открытую подсистему, в которой она протекает; в то же время в замкнутой системе в целом беспорядок возрастает.

2. Самоорганизация происходит в системах, состояние которых в данный момент существенно отличается от состояния равновесия. Нарушение равнове-

сия вызывается внешним воздействием. В примере с ячейками Бенара внешнее воздействие проявляется в нагревании сосуда, которое приводит к различию температур в отдельных макроскопических областях жидкости. В электрических генераторах внешнее воздействие – напряжение, создаваемое источником, приводит к отличному от равновесного распределению электронов. Состояние системы вдали от равновесия является неустойчивым относительно состояния вблизи равновесия, и именно вследствие этой неустойчивости возникают процессы, приводящие к образованию структур.

3. Самоорганизация возможна лишь в системах, состоящих из большого числа частиц. В ряде случаев это очевидно, например, макроскопические пространственные структуры содержат большое число атомов и молекул. Однако, если обратиться к автоколебаниям популяций, то можно утверждать, что при малом числе особей в популяции такие автоколебания невозможны. Дело в том, что только в системах с большим числом частиц возможно возникновение флуктуаций – макроскопических неоднородностей.

4. Самоорганизация всегда связана с самопроизвольным уменьшением симметрии. Красивая симметричная снежинка имеет тем не менее более низкую симметрию, чем бесструктурный водяной пар. Идеи такого изменения симметрии получили большое развитие в современной теории микромира, а также при описании фазовых переходов в физике (например, переход из жидкого состояния в кристаллическое). Вообще процессы самоорганизации во многом похожи на фазовые переходы, поэтому часто их называют кинетическими фазовыми переходами. Отличие заключается в том, что при фазовых переходах происходит возникновение микроструктур (например, кристаллической решетки), в то время как в макроскопическом объеме система остается однородной.

Основные положения синергетической концепции самоорганизации:

1. Объекты исследований самоорганизации являются открытыми системами в неравновесном состоянии, характеризующимися интенсивным (потокowym) обменом веществом и энергией между подсистемами и системой с ее окружением. Конкретная система погружена в среду, которая является также ее

субстратом.

2. Окружающая систему среда должна рассматриваться как совокупность составляющих ее объектов, находящихся в динамике. Взаимодействие исследуемых объектов в среде определяется как близкодействие – контактное взаимодействие. Объекты могут быть реализованы в физической, биологической, геологической и другой среде более низкого уровня, характеризуемой как газоподобная, однородная или сплошная. В составе системы реализуется дальное действие – полевое и опосредованное (информационное) взаимодействие.

3. Различаются процессы организации и самоорганизации. Общим признаком для них является возрастание порядка вследствие протекания процессов, противоположных установлению термодинамического равновесия независимо взаимодействующих элементов среды (также удаления от хаоса по другим критериям). Организация, в отличие от самоорганизации, может характеризоваться, например, образованием однородных стабильных статистических структур.

4. Результатом самоорганизации становится возникновение, взаимодействие, взаимосодействие (кооперация, коэволюция) и, возможно, регенерация динамических объектов (подсистем) более сложных в информационном смысле, чем элементы (объекты) среды, из которых они возникают. Система и ее составляющие являются существенно динамическими образованиями.

5. Направленность процессов самоорганизации обусловлена внутренними свойствами объектов (подсистем) в их индивидуальном и коллективном проявлении, а также воздействиями со стороны среды, в которую «погружена» система.

6. Поведение элементов (подсистем) и системы в целом существенным образом характеризуется спонтанностью, то есть акты поведения не являются строго детерминированными.

7. Процессы самоорганизации происходят в среде наряду с другими процессами, в частности, имеющими противоположную направленность, и отдельные фазы существования системы могут как преобладать над последними (про-

гресс), так и уступать им (регресс). При этом система в целом может иметь устойчивую тенденцию или претерпевать колебания к прогрессивной эволюции либо к деградации и распаду. Самоорганизация имеет в своей основе процесс преобразования или распада структуры, возникшей ранее в результате процесса реорганизации.

Соотношение между хаосом и порядком. Явления хаотичности и упорядоченности чрезвычайно важны в синергетике. Любая нелинейная система за время существования претерпевает перестройки (часто многократные) в своей структуре, проходя этапы усиления хаоса. Как хаос, так и порядок формируются вследствие процессов самоорганизации. Хаос представляет собой кульминационное состояние в борьбе «старого» порядка с «новым», спонтанно стремящимся заменить «старый». Синергетика рассматривает несколько разновидностей хаоса-порядка.

1. *«Хаос-порядок Бог»* («центральный порядок», по Гейзенбергу) – результат взаимно обусловливаемого действия всеобщих законов развития материи.

2. *Абсолютный хаос-порядок* характеризует вакуум, отсутствие материи, времени и пространства. В вакууме отсутствуют материальные частицы и, следовательно, силы взаимодействий. Если существуют границы Вселенной, за которыми начинается такой вакуум, то в нем нет событий, а следовательно, пространства и времени, эволюционных процессов. В нем не существует законов движения материи и формирования структур.

3. *Термодинамический хаос-порядок.* К нему ведет направленный, необратимо протекающий упорядоченный процесс. Такой хаос формируется в силу необратимости процессов и поэтому является детерминированным. Состояние термодинамического хаоса может кратковременно установиться в искусственно создаваемых, закрытых для внешних воздействий условиях, без подвода к системе вещества и энергии, так что в системе отсутствует энергия, производящая работу против необратимости. Состояние термодинамического равновесия может рассматриваться как хаос потому, что положение любой части такой си-

стемы неопределенно ни во времени, ни в пространстве. Но обусловлен он упорядоченным движением вещества и энергии в результате действия законов термодинамики. Термодинамический хаос-порядок может возникнуть только при упорядоченных действиях высокоранговых систем. Примером может являться любая техногенная или естественная термодинамическая система, если ее считать закрытой: перетекание жидкости в сообщающихся сосудах или естественных водохранилищах с установлением единого уровня; формирование равнин на поверхности Земли за счет перераспределения вещества с более высоких уровней на низкие; процессы изостазии и другое. Во всех случаях при отсутствии сил, препятствующих развитию необратимых процессов, установилось бы статическое термодинамическое равновесие, при котором прекратились бы перераспределение вещества и энергии и динамика системы. В результате возник бы безжизненный хаос-порядок.

4. *Динамический хаос-порядок* формируется в результате упорядоченного поступления вещества и энергии в количествах, значительно превышающих необходимые для равновесия. Возможен также другой тип динамического хаоса-порядка – стохастический или очаговый. Динамический хаос возникает в случае, если в течение короткого времени к системе подводятся вещество и энергия в таких количествах, которые приводят к нарушению необратимости протекания процессов и разрушению системы. Примером может служить поднятие некоторых блоков земной коры, которое происходит столь стремительно под действием эндогенных сил, что экзогенные процессы не успевают переработать поток вещества и энергии и формируется слабо упорядоченное нагромождение геологических тел.

Важной разновидностью динамического хаоса является хаос катастрофический. Он формируется в результате кратковременного поступления в систему из среды вещества и энергии в количествах, достаточных для полного уничтожения существовавших ранее упорядоченных структур.

9.3. Концепция универсального эволюционализма

Известно, что понятие «изменение» характеризует состояние движущейся материи и является более широким, чем понятие «развитие». Если движение – это любые процессы изменения материи, то развитие представляет собой определенный тип этого изменения, которому присущи некоторые определенные признаки. Развитие понимается как направление изменения содержания процесса, явления, материального объекта. Важнейшей и инвариантной чертой развития считается его направленность, которая в отличие от движения заключается в том, что для развития характерна единая, внутренне взаимосвязанная линия. Процессы развития имеют два главных направления: от простого к сложному, от низшего к высшему, либо наоборот – от более сложного к более простому. То направление развития, которое характеризуется повышением сложности, организацией или переходом к высшему, называют прогрессивным развитием. Тип развития, для которого характерен переход от высшего к низшему, является регрессом. В некоторых случаях при изучении развития материи во Вселенной эволюцию и прогресс отождествляют, но в основном эти понятия не совпадают. В концепции универсального эволюционизма понятие эволюции употребляется в том же смысле, что и понятие развития, то есть как направленное изменение содержания объекта. Идея развития носит ярко выраженный интегративный характер, способствуя как процессу синтеза знания, соединения философских и частнонаучных идей об эволюции, так и взаимосвязи наук о природе и человеке, содействуя появлению новых обобщающих понятий, концепций и теорий о развитии. Проникновение идеи развития в науку шло через преодоление метафизических представлений и современная наука, имея в виду прежде всего естественные и общественные ее разделы, в той или иной степени восприняла эту идею.

В настоящее время наука – это не просто в той или иной степени адекватное отражение явлений и структур материи, законов функционирования, но и их изменения, развитие и отображение закономерностей эволюции материальных образований. Данное положение характерно и для отдельных отраслей

науки, в которые идея развития проникала в разное время. Если идея развития, главным образом благодаря трудам Дарвина, была освоена биологией еще в XX в., то иная картина была, например, в астрономии. Несомненно, что космогоническая гипотеза Канта – Лапласа (образование планетной системы из облака диффузного вещества) внесла эти представления в астрономию раньше, чем эволюционная теория – в биологию. Однако концепция прогрессивного развития касалась лишь Солнечной системы, а не всей Вселенной. В биологии же эволюционные представления фактически сразу же были распространены на всю биосферу, именно поэтому вплоть до XX в. астрономия представляла Вселенную как статичную (в отличие от современного образа эволюционирующей Вселенной).

Один из важнейших вопросов, который находится в центре внимания концепции универсального эволюционизма, связан с тем, насколько в проблеме развития объединяются земные (геоцентрические) и космические аспекты. Если древние мыслители просто объединяли земное (в том числе человека) и космическое, то затем космические и земные проблемы развивались в разных, как бы в параллельных плоскостях.

Объединение идей развития могло бы произойти уже в рамках частных наук, и прежде всего в геологии, где эволюция рассматривалась с геоцентрических позиций (вплоть до работ В.И. Вернадского). Это указывает на ограниченные возможности исследования проблемы развития в частных науках, что обусловлено отсутствием в них наиболее широкого взгляда, который свойственен только философскому знанию. Очевидно, что предпосылкой объединения земного и космического аспектов эволюции является все более углубленное их исследование идеи развития философии, которая соединила и обобщила частнонаучные и универсальные (общие) идеи развития. Такой синтез показывает, что земные и космические процессы развития – это не какие-то не связанные между собой природные процессы, а аспекты единого целого – Универсума, под которым понимается Вселенная как все существующее мировое целое в широком философском смысле. Таким образом, научно-философское мировоззрение и

методология оказались тем прочным фундаментом, который соединил земные и космические, частные и общие и т.д. процессы развития в научную концепцию эволюции, при этом синтез аспектов развития происходит и в настоящее время, но на совершенно новом качественном уровне, обусловленном революционными достижениями астрономии и космонавтики.

Универсальный эволюционизм как общенаучный принцип. Идеи эволюционизма появились в том или ином виде еще в древности, когда мыслители стали задумываться о развитии мира и месте человечества в нем. Эволюционизм как научное мировоззрение появляется лишь в XVIII в. (И. Кант, И. Гердер, Ж. Бюффон и др.), а тем более это характерно для XIX в., особенно в учении Гегеля о всеобщих формах развития. Сам термин «эволюция» появился благодаря англичанину Н. Хэйлу, который в 1677 г. ввел его в отношении к организму человека. В более широком биологическом смысле его употребил Г. Спенсер (1852), говоря о развитии всей живой материи.

Во второй половине XX в. возникли проблемы глобального масштаба, требующие более содержательного объяснения происходящих в мире процессов. От абстрактно-диалектической картины развития необходимо было перейти к универсальной модели, которая исходила бы из основных концепций развития в области естественных, общественных и других наук и особенно – междисциплинарных исследований, без которых в принципе невозможно сформировать концепцию универсального эволюционизма.

В настоящее время идет поиск не всеобщих философских, а общенаучных законов и тенденций развития, то есть выявление направлений и закономерностей развития всего сущего, которые носят универсально-инвариантный характер и могут претендовать на то, чтобы объяснить появление человечества и прогнозировать его дальнейшее взаимодействие с природой Земли и космосом. Универсальный эволюционизм необходимо отличать от глобального эволюционизма, суть которого ограничивается планетарными масштабами эволюции и не заостряет внимание на выделении стабильных тенденций, принципов и законов как универсалий развития разнородных структур материи. Универсальный

эволюционизм должен акцентировать внимание на общих, инвариантных тенденциях и закономерностях развития, проявляющихся на разных уровнях организации материи. В основе этой концепции лежит идея универсальности эволюции различных структурных уровней, выявление универсалий эволюционирующих структур. Универсалии (от лат. *universalis* – всеобщий) – это общие понятия, имеющие философское содержание. Под эволюционирующими структурами понимаются конкретные структуры или их совокупности, которые развиваются в определенном направлении и включаются исследователем в процесс эволюции.

Наиболее распространенное в последние годы представление универсального эволюционизма связано с синергетикой, которая распространила многие свои принципы и законы с неживой природы на живую природу и человеческое общество. Такой подход к универсальному эволюционизму использует понятия и методы синергетики как междисциплинарного научного направления для установления законов самоорганизации систем (как стихийного возникновения сложных упорядоченных структур).

С позиций эволюционного естествознания прогресс в природе можно проследить начиная с элементарных частиц. Атомы представляют собой по сравнению с элементарными частицами более сложные и организованные системы; по своим свойствам они не тождественны элементарным частицам. Переход от элементарных частиц к атомам, от одного качественного уровня к другому, от относительно простого к сложному является одним из первых известных нам шагов в восходящей ветви эволюции неживой природы. Следующей ступенью развития материальных систем являются молекулы, различных видов которых оказалось значительно больше, чем атомов (их количество приблизилось к нескольким миллионам). Результатом молекулярной (химической) эволюции явилось появление, в частности, таких сложных органических соединений, как полисахариды, полинуклеиновые кислоты и белки. На вершине химической эволюции возникло новое качество сложно-упорядоченной в пространстве и во времени системы из органических веществ, непосредственно связан-

ных с возникновением и развитием жизни. Из первичных организмов, которые, возможно, напоминали современные вирусы, развились одноклеточные, затем многоклеточные и т.д. – вся иерархия уровней биологической эволюции, в ходе которой появились микроорганизмы, растения и животные. Вместе они составили от 30 до 100 млн различных видов. И только на пути развития животного мира оказалась магистральная линия прогресса, приведшая к появлению высших млекопитающих – приматов (человекообразных обезьян и человека).

Дальнейшая наиболее интенсивная эволюция продолжалась на планетах. На некоторых из них появилась жизнь (биосфера) со структурной единицей – организмом, а затем общество (социосфера) со структурной единицей – человеком. Взаимосвязанные звенья – структуры (системы) и структурные элементы составляют так называемый двухцепочечный ряд прогрессивного развития (или эволюционный ряд).

Рассмотрим диапазон условий, в которых могут существовать структуры и структурные элементы ступеней развития в природе. Элементарные частицы существуют в весьма широком диапазоне условий, практически везде, кроме физического вакуума (они могут в нем находиться, но не могут его составлять). Можно говорить об определенной вероятности встретить в данном конечном объеме пространства наблюдаемой Вселенной элементарную частицу. Обозначим эту вероятность через P_3 . Атомы существуют при меньшем диапазоне условий: лишь на планетах, в космическом пространстве и на поверхности некоторых классов звезд. Молекулы существуют там же, но диапазон их условий еще меньше, чем для атомов.

С уменьшением диапазона существования ступеней развития в природе (конечно, в наблюдаемой Вселенной) уменьшается объем пространства, который занимают структуры, то есть $V_m > V_z > V_n > V_{биосф.}$, где V_i – соответствующие объемы распространения метagalактической, звездной, планетной и биологических структур.

Универсальным критерием, однозначно определяющим многие характеристики развития материальных объектов в природе, считается *информация*,

которая может храниться, перерабатываться, передаваться и т.д. При изучении материальных объектов, явлений и процессов первичный интерес представляет хранение информации, то есть лишь та часть информации, которая по терминологии Л. Бриллюэна называется *связанной*. Последняя не обязательно должна передаваться от одного объекта к другому, так как главное состоит в том, что она выступает как определенная характеристика относительно устойчивого распределения или разнообразия элементов в данной структуре объекта, причем имеет смысл исследовать лишь конечные, ограниченные в пространстве и во времени системы и на определенном уровне, поскольку без этих ограничений количество информации (или количество разнообразия) в любом объекте в силу неисчерпаемости материи, ее развития и всеобщей связи явлений бесконечно велико. Принятые допущения позволяют выявить некоторые количественные информационные закономерности систем. На прогрессивной линии эволюционного ряда увеличивается количество разнообразия видов структурных единиц – различных представителей уровней.

Учитывая, что разнообразие видов связано с их информационным содержанием, можно сделать вывод, что количество информации увеличивается с переходом от низшей к высшей ступени эволюционного ряда. Разнообразие видов тесно связано с информационным содержанием структурной единицы ступени. Чем больше количество информации в структурной единице, тем большее число комбинаций могут дать ее составляющие и, следовательно, возможно наибольшее порождение видов структурных элементов ступени. Но возможное количество видов еще не есть реальное. Легко убедиться, что вероятное разнообразие видов с комбинаторной точки зрения намного выше действительного количества разнообразия видов в природе. Однако в общем случае рост количества информации в структурных единицах эволюционного ряда связан с увеличением количества разнообразия ступеней развития. Это значит, что в процессе развития увеличивается не только количество информации в структурных единицах, но и количество информации соответствующей ступени в целом. Отсюда следует также то, что рост количества информации характери-

зует обе взаимосвязанные цепи ряда развития. Установленное ранее неравенство $P_{\text{э}} > P_a > P_{\text{мол}} > P_{\text{орг}}$ можно теперь сопоставить с неравенством информационных содержаний $I_p > I_{\text{мол}} > I_{\text{орг}} > I_{\text{э}}$, где соответствующие количества информации относятся не только к отдельным структурным единицам, но и ко всем (в основном из них составленным) структурам.

Таким образом, благодаря применению информационного критерия выявляются новые возможности определения степени, темпов и направления эволюции материальных систем в природе. При этом накопление информации проявляется в следующих случаях: 1) при развитии одного уровня (или ступени развития материи), в пределах которого выше по развитию оказывается тот объект, который содержит большее количество информации; 2) закон накопления информации справедлив и для главной линии прогресса, связанной с переходом от одной ступени (уровня) развития материи к другой, более высокой. Если на одной и той же ступени развития удастся сравнивать любые конкретные структурные единицы по количеству информации, то для разных ступеней необходимо выбирать средние представители: «среднюю» элементарную частицу, «средний» атом, «среднюю» молекулу, «средний» организм.

Таковы некоторые универсальные закономерности эволюции, выявленные при исследовании рядов основных структур материи.

Концепция глобального эволюционизма. Одной из важнейших идей европейской цивилизации является идея развития мира. В своих простейших и неразвитых формах (преформизм, эпигенез, кантовская космогония) она начала проникать в естествознание еще в XVIII в. Но уже XIX в. по праву называют веком эволюции. Сначала в геологии, затем в биологии и социологии теоретическому моделированию развивающихся объектов стали уделять все большее внимание. В науках физико-химического цикла идея развития принималась сложно. Вплоть до второй половины XX в. господствовала исходная абстракция закрытой обратимой системы, в которой фактор времени не играет роли. Даже переход от классической ньютоновской физики к неклассической (релятивистской и квантовой) в этом отношении ничего не изменил. Однако в клас-

сической термодинамике было введено понятие энтропии и представление о необратимых процессах, зависящих от времени (в физические науки было введено понятие «стрела времени»). Классическая термодинамика изучала лишь закрытые равновесные системы, а неравновесные процессы рассматривались как возмущения, второстепенные отклонения, которыми можно пренебречь. Проникновение эволюционной идеи в геологию, биологию, социологию, гуманитарные науки в XIX – первой половине XX в. происходило достаточно независимо в каждой из этих отраслей познания, хотя взаимовлияние наук и сложные «идейные перетоки» между научными направлениями, конечно, имели место. Философский принцип развития мира (природы, общества, человека) не имел общего, стержневого для всего естествознания (а также для всей науки) выражения. В каждой отрасли естествознания существовали свои (независимые) формы теоретико-методологической конкретизации.

К концу XX в. естествознание подошло к созданию *единой модели универсальной эволюции*, выявлению общих законов природы, связывающих в единое целое происхождение Вселенной (космогенез), возникновение Солнечной системы и Земли (геогенез), возникновение жизни (биогенез) и, наконец, возникновение человека и общества (антропосоциогенез). Такая модель разрабатывается в рамках концепции глобального эволюционизма. В этой концепции Вселенная предстает как развивающееся во времени природное целое, а вся история Вселенной от Большого взрыва до возникновения человечества рассматривается как единый процесс, в котором процессы эволюции космических, химических, биологических, геолого-географических и социальных систем преимущественно и генетически связаны между собой.

В концепции глобального эволюционизма подчеркивается важнейшая закономерность – направленность развития мирового целого на повышение своей структурной организации. Вся история Вселенной – от момента сингулярности до возникновения человека – предстает как единый процесс материальной эволюции, самоорганизации, саморазвития материи. Важную роль в концепции универсального эволюционизма играют факторы эволюционного процесса: по-

явление новых структурных элементов (мутации в эволюции организмов), обмен систем структурными элементами, несущими информацию (дрейф генов, миграция организмов и др.), отбор наиболее эффективных образований (естественный отбор в эволюции организмов) в процессе глобальной эволюции очерчиваются уровни организации материальных систем. Качественно новый уровень организации материи окончательно самоутверждается тогда, когда он оказывается способным впитать в себя предшествующий опыт исторического развития материи. Принцип глобального эволюционизма требует не просто знания временного порядка образования уровней материи, а глубокого понимания закономерностей и внутренней логики развития вселенной как целого.

В связи с этим большое значение имеет так называемый *антропный принцип*, определяющий, что возникновение человечества, познающего субъекта (предваряющего органического мира) было возможным в силу того, что ключевые свойства нашей Вселенной именно таковы, какими они являются. Данный принцип отражает глубокое внутреннее единство закономерности исторической эволюции Вселенной, Универсума и предпосылок возникновения и эволюции органического мира вплоть до антропосоциогенеза. Согласно этому принципу существует некоторый тип универсальных системных связей, определяющих целостный характер существования и развития Вселенной как определенного системно организованного фрагмента бесконечно многообразной материальной природы. Глобальный эволюционизм, с одной стороны, дает представление о мире как о целостности, позволяет рассматривать общие законы бытия в их единстве, а с другой – ориентирует современное естествознание на выявление конкретных закономерностей эволюции материи на всех уровнях и этапах ее самоорганизации.

9.4. Фундаментальная роль и практическое значение информации в природе и обществе

В настоящее время информацию по праву причисляют к важнейшим ресурсам и факторам социального развития. Еще несколько десятков лет тому

назад в качестве характерных показателей развития назывались такие параметры, как количество выплавленной стали, добытого угля, электроэнергии, нефти и т.д. Ныне информация, как и средства ее получения, переработки и использования, занимает одно из первых мест среди критериев развития общества.

Что такое «информация»? Несмотря на публикацию некоторых работ по проблеме информации, в которых содержался анализ этого феномена с широких мировоззренческих и методологических позиций, «информационный» аспект мировоззрения пока еще не стал существенным компонентом мышления. Упрощая и схематизируя ситуацию, можно сказать, что естественнонаучное мировоззрение базировалось на «вещественно-энергетическом» фундаменте. Такие понятия, как «вещество» и «энергия», из мировоззренческих категорий превратились в показатели человеческой деятельности. На определенных этапах развития общества стояли свои задачи, и хотя информация – это вечная проблема, именно во второй половине XX в., сложились обстоятельства, выдвинувшие ее в качестве лидера как в мышлении, так и в деятельности людей.

Под информацией в широком смысле понимают главную часть такого атрибута всей материи, как отражение. Особенность этой части материи заключается в том, что она может объективироваться, опредмечиваться, передаваться и вообще участвовать в разных формах движения, которые реализуются как в природе и обществе, так и в информационно-кибернетической технике, в частности в ЭВМ. Само отражение существенно связано со своим материальным носителем и характеризуется пространственными, энергетическими и другими параметрами. От своего материального носителя можно отделить лишь ту его часть, которая может передаваться и транслироваться, порождая отражение (образ) в ином предмете (приемнике информации). Образ, который формируется в сознании одного человека под влиянием передачи информации другим человеком, никогда точно не совпадает с образом передающего, ибо у каждого есть свои индивидуальные отличия. Общее же между ними только в переданной от одного человека к другому информации. В ходе исследований информационно-отражательных процессов обнаружено, что передача информации осу-

ществляется лишь благодаря разнообразию технических средств.

Элементарная единица информации составляет различие двух элементов (или состояний). В ЭВМ это «0» и «1», которые могут передаваться по каналам связи или храниться в памяти компьютера. Это вместе с тем и элементарная единица измерения количества информации, называемая битом или двоичным разрядом. В информатике чаще используется такая единица измерения, как байт, содержащий 8 битов, причем каждый байт соответствует одному знаку, то есть букве, цифре или символу. Соответственно килобайт равен 1024 байтам, мегабайт – 1024 килобайтам и 1 гигабайт – 1024 мегабайтам. Такое представление информации в разнообразии нулей и единиц обусловлено конструктивными особенностями ЭВМ, так как их электронные элементы (а в фотонных компьютерах – оптические элементы) могут находиться в двух состояниях – включено (единица) и выключено (нуль). Таким образом, в компьютерах объективно реализуется концепция информации как стороны отражения, которая выражает разнообразие.

В литературе нет единого мнения о том, является ли информация свойством всей материи или же она характеризует лишь две высшие ее ступени развития (биологическую и социальную). Более перспективна первая точка зрения, тем более что эксперименты с переносом сверхмалых концентраций вещества в жидкостях, передача генетических признаков по небιологическим каналам связи, развитие синергетики и других наук о неживой природе дают новые аргументы в пользу существования информации в неживой природе. Да и само развитие микропроцессорной техники, реализующей идею наличия структурной информации в используемых кристаллах (чипах), также свидетельствует не только о перспективности признания информации свойством высших форм организации материи, но и о наличии информации в самом фундаменте мироздания как стороны процессов отражения. Независимо от приверженности той или иной точке зрения на природу информации наблюдается тенденция признания информации фундаментальной общенаучной категорией.

Социальная информация имеет различные виды, в частности можно вы-

делить информацию в неживой природе, биологическую и социальную (в совокупности образующие информационную реальность). В широком смысле социальная информация представляет собой как информацию о самой социальной форме движения, так и о других ее формах, которая получена обществом и используется в различных сферах его деятельности. В более узком смысле – это информация лишь об обществе и человеке. Такое разделение дается по субъекту информационного процесса (система, которая ее получает и использует) и по объекту (который она отображает). При этом высшим ее видом является информация, проходящая через сознание человека. В ней можно выделить наиболее важную форму, которая выражает общечеловеческое, гуманистическое содержание, ориентированность на выживание и устойчивое развитие всей человеческой цивилизации.

Для того чтобы реально существующему глобальному процессу стать проблемой, необходимо условие, характерное для всех глобальных проблем, то есть должно существовать основное противоречие в развитии той или иной проблемы, угрожающее развитию как всего общества в целом, так и отдельного человека в форме того или иного критического явления (например, экологический кризис, угроза термоядерной катастрофы и т.п.). Такое противоречие в развитии социально-информационных процессов носит название «информационного кризиса», которое представляется как противоречивое единство «информационного взрыва» и «информационного голода». Информационный кризис проявляется в следующих моментах: 1) наличие противоречия между ограниченными возможностями человека по восприятию и переработке информации и существующими мощными потоками и массивами хранящейся информации (первый информационный барьер) и даже любыми группами людей, не вооруженных ЭВМ (второй информационный барьер); при этом общая сумма знаний менялась вначале очень медленно, но уже с 1900 г. она стала удваиваться каждые 50 лет, к 1950 г. удвоение происходило каждые 10 лет, а к 1970 г. – уже каждые 5 лет, в конце XX в. поток информации возрос более чем в несколько десятков раз, удваиваясь с 1990 г. ежегодно, а в последние годы – еще

больше; 2) перепроизводство значительного количества информации, которая либо преграждает, либо существенно затрудняет потребление полезной, ценной информации для потребителя; 3) нарушение целостности научных и социальных коммуникаций, заключающихся в предпочтении корпоративных, элитарных и групповых интересов, гипертрофировании ведомственных целей и нужд, наличии феномена секретности и т.д., то есть имеются определенные экономические, политические и другие социальные барьеры, которые не позволяют информации полностью реализовать свою интегрирующую роль в развитии современного общества.

Таким образом, с одной стороны, информационный фактор произвел в жизни человеческой цивилизации за последние десятилетия одно из самых глубоких изменений за всю ее историю – связал мир в единую информационную систему; с другой стороны, это единство пока носит формальный, поверхностный, в основном технический характер, что свидетельствует в пользу того, что с помощью одной лишь информации не решить социальных проблем.

Следовательно, всеобщность и необходимость информации в обществе делают любую социальную деятельность информационным процессом и вместе с тем любой информационный процесс в обществе – деятельностью, имеющим все компоненты, то есть субъект, объект, средства, цели, потребности и т.д.

«Ресурсный» подход к информации и информатике, о котором далее пойдет речь, также базируется на деятельностном представлении информационных процессов, на понимании наличия потребностей в информации, использовании ее для целей выживания и развития. Под *ресурсами* обычно понимается часть компонентов социальной деятельности либо окружающей природной среды, используемой как для развития общественного производства, так и для удовлетворения потребностей человека и общества в целом. В данном случае, ресурсы – это потребность в информации, что позволяет ввести понятия *информационных потребностей и ресурсов развития*. Как предмет особой информационной деятельности, информация ценится за свое содержание, то есть за свои идеаль-

ные параметры. В этом плане в отличие от материальных ресурсов она представляет идеальный ресурс, экономящий другие вещественно-энергетические ресурсы. Вместе с тем информационные ресурсы в широком смысле включают и сами информационные средства (компьютеры, средства связи, модели, алгоритмы, программы и т.д.), без которых либо невозможно, либо неэффективно перерабатывать и передавать информацию. В информационные ресурсы входят также и кадры, овладевшие компьютерно-информационной грамотностью и культурой. Тем самым информационный ресурс развития (и в частности социального управления) имеет два аспекта: идеальный и материальный, как предмет и как средство информационной деятельности.

Как известно, ресурсы делятся на возобновляемые (воспроизводимые) и невозобновляемые. По своему статусу информация (прежде всего научно-техническая [НТИ]) ближе к возобновляемым ресурсам, но полностью относить ее к возобновляемым ресурсам нельзя, поскольку свойством повторного использования обладает далеко не вся информация в силу своего старения и ряда других качеств (например, неконкурентоспособности). Фундаментальная НТИ может быть использована многократно и это позволяет приравнять ее к возобновляемым материальным ресурсам. Определенная часть прикладной НТИ может быть также использована многократно. Создание и распространение персональных компьютеров (ПК) открывает более широкие перспективы многократного и быстрого использования идеальных информационных ресурсов, добытых всем человечеством. Информация как ресурс тем самым обнаруживает тенденцию становления общечеловеческим достоянием и стратегическим фактором устойчивого развития.

Для широкого распространения и развития информационных процессов в обществе очень важной является и такая черта НТИ, как ее новизна, которая в принципе делает процесс ее получения инновационным процессом. Новизна НТИ как раз представляет то качественно иное по сравнению с уже имеющимся массивом знаний, из-за чего информация обретает особую значимость. Постоянно продуцируемая в сфере науки новая информация оказывается, с одной

стороны, воспроизводимым ресурсом в различных сферах деятельности, а с другой – вечно изменяющимся ресурсом, который в самом механизме своего получения содержит источник своего самообновления. Новизна НТИ противостоит ее старению, деактуализации, моральному износу, что приводит к необходимости решения проблем с помощью новых знаний. Производство новой НТИ, прежде всего фундаментальной, – это имманентное свойство такой подсистемы социальной деятельности, как наука. Такие свойства НТИ, как ее воспроизводимость, новизна, многократность использования, существовали всегда, и, следовательно, потенциально НТИ оказывается важным ресурсом для развития общества.

Почему же именно в последнее время эти свойства информации, получаемой в сфере науки, привлекли внимание и начался ускоренный процесс информатизации общества? Одна из причин состоит в том, что кроме военных стимулов появились объективные потребности общества в широкомасштабном использовании НТИ. Это явление связывается с переходом развитых стран (в дальнейшем и других стран) к интенсивному (в перспективе – устойчивому) развитию, требующему привлечения новых ресурсов, новых качественных факторов развития, важнейшим из которых в силу вышеизложенных обстоятельств оказывается НТИ. В последние годы информация обрела свой экономический статус как ресурс и потенциал развития; оказалось, что она может даже превращаться в товар, обладая не только стоимостью и потребительной стоимостью, но и меновой стоимостью, может эффективно использоваться для повышения экономического роста как качественный фактор развития.

Информация как фактор интенсификации. Уже на этапе экстенсивного развития материального производства было замечено, что рост объема производства требует большего, чем линейный рост, количества информации даже из-за увеличения «поля деятельности», количества подлежащих информационной связи компонентов хозяйствования, тем более это относится к интенсивной деятельности, когда умножаются качественные факторы развития и минимизируются количественные. Говоря об информации как наиболее значимом факто-

ре перехода к устойчивому развитию, следует отметить, что наибольшая часть производимой социальной информации не используется по разным причинам, оказывается избыточной, дублирующей уже ранее полученную, либо быстро устаревает и т.д., поэтому рост информационного содержания социосферы вряд ли можно представить в виде процесса лишь непрерывного накопления каких-то неизменных атомов информации. Накопление действительно происходит, но не просто в кумулятивном процессе обобщения в ходе преобразования как хранимой, так и вновь производимой информации. Наибольшую ценность представляет новая и фундаментальная научная информация, движение которой к практическим и иным сферам деятельности представляет интенсификационный процесс.

Известно, что для удвоения производства необходимо вчетверо больше информации, а сейчас речь идет о том, что увеличение объема производства должно идти еще более быстрыми темпами; происходит переход от экстенсивного к интенсивному и биосферосовместимому экономическому развитию. Дело не только в росте объемов производства, но и в производительности труда, эффективности производства. Это означает, что для сохранения качества управления при возрастании производительности труда в N раз необходимо, чтобы производительность труда лиц, занимающихся управлением, возросла бы в N^3 раз, именно поэтому на определенной ступени технической вооруженности общества сдерживающим фактором его развития становится производительность труда управляющих, ученых, связистов и всех тех, кто занят созданием и переработкой информации. Эти математические зависимости иллюстрируют причины усиленного роста информационной сферы. Необходимость роста переработки информации в сфере управления на этапе перехода к устойчивому развитию диктуется не только социально-экономическими процессами, но и социально-экологическими, которые в принципе невозможно реализовать без перехода на компьютерную технику, без достижения сплошной информатизации общества и его взаимодействия с природой.

Индустрия информатики. Это межотраслевой комплекс, обеспечиваю-

щий разработку, производство, обращение и поддержку применения информационной техники и информационных технологий. Быстрый рост производства ЭВМ стал ответом на возрастающие информационные потребности общества, связанные как с развитием материального производства, так и с нуждами других областей деятельности, и прежде всего науки. Появление и развитие компьютеров – это необходимая составляющая процесса информатизации общества, но возможность их внедрения в различные социальные сферы была бы нереализованной, если бы они не смогли удовлетворять определенные (их называют информационными) потребности общества.

Современное материальное производство и другие сферы деятельности все больше нуждаются в информационном обслуживании, переработке огромного количества информации. Занимающихся в информационной сфере становилось все больше, и этот рост оказался преимущественно экстенсивным, поскольку производительность труда здесь увеличивалась крайне медленно и значительно отставала по сравнению с производительностью работающих в промышленности. К началу 80-х годов XX в. инструментально-оснащенность промышленных рабочих в стоимостном отношении в 10 раз превышала таковую в информационном секторе общественного производства. Именно в этом последнем обнаружилось слабое звено в дальнейшем наращивании эффективности всего общественного производства и появилась потребность в существенном увеличении производительности труда в информационном секторе, где из-за экстенсивного пути его развития сосредоточилось уже более половины всего занятого населения развитых стран. Внедрение новейших средств вычислительной техники и связи явилось естественным ответом на упомянутую назревшую социальную потребность.

До появления электронно-вычислительной техники масштаб производственного процесса и его характеристики никогда в истории не менялись на два – три порядка за одно десятилетие. Например, авиация и электроэнергетика, наиболее впечатляющие технологические символы XX в., стремительно развиваясь, не достигали и сотой доли тех скоростей изменения технических харак-

теристик, которые стали нормой в вычислительной технике. В то же время в вычислительной технике опыт, приобретенный за последние десятилетия, основан на практической базе, составляющей менее 0,1% от той реальной производственной базы, с которой необходимо работать сегодня. Хотя по своему экономическому статусу информационная индустрия относится к инфраструктурным отраслям промышленности (наряду с энергетической, транспортной и т.д.), тем не менее ее продукт (информация) придает ей уникальную специфику.

Наиболее важной тенденцией развития компьютерной техники в перспективе является возможность ее интеллектуализации. Вначале ЭВМ (что вытекает из их названия) создавались просто как мощные арифмометры, которые использовались для решения вычислительных задач. Однако, по имеющимся прогнозам, вычислительные функции компьютеров, обработка данных все больше уступают место выполнению логических функций, переработке знаний, причем эта последняя функция с начала XXI в. начала доминировать. В этом плане весьма эффективными оказались информационные системы, которые получили наименование экспертных систем, используемые для анализа структуры химических соединений, диагностики болезней, игры в шахматы и т.д. Экспертные системы функционируют благодаря созданию программ, формализующих правила вывода, которыми пользуются эксперты в той или иной области (например, гроссмейстеры при игре в шахматы). Возникают не просто технические системы, работающие независимо от человека, а смешанные человеко-машинные системы обработки информации, в связи с чем актуальной стала проблема общения человека с ЭВМ. Вплоть до пятого поколения развитие ЭВМ было связано с появлением большой армии посредников между пользователем и машиной – программистов. Именно их производительность (порядка сотен операций за рабочий день) и оказалась «узким местом» в развитии индустрии переработки информации.

В настоящее время реализуется новая информационная технология, выполняемая на персональных ЭВМ и позволяющая конечному пользователю на основе баз знаний и других интеллектуальных средств без помощи специали-

ста-программиста создавать необходимые программы. В перспективе будут созданы информационные технологии, в условиях которых каждый человек, работающий с компьютером в диалоговом режиме, будет использовать естественный язык, а ученый – специальные языки его науки.

Кибернетика и информатика. В чем отличие информатики как науки от кибернетики, возникшей до нее, еще в конце 1950-х годов? Для концепции кибернетики, провозглашенной Н. Винером, весьма существенной оказалась идея управления, и часто кибернетику даже определяли как науку об управлении сложными динамическими системами. Такая формулировка минимизировала идею кибернетики, но, по-видимому, совпадала с какими-то объективными тенденциями развития науки. Сейчас по сравнению с винеровским пониманием кибернетики ее предмета ряд ученых настаивает на необходимости ее ограничения вопросами управления. Достаточно четко это сформулировал Н.Н. Моисеев, подчеркнув, что кибернетика – это научная дисциплина, которая занимается общими вопросами управления в разных областях человеческой деятельности, живого мира и техники. Считается, что в любом случае в информатике отсутствует концепция управления, существенная для кибернетики, а сама кибернетика существует независимо от компьютеров, занимающих по отношению к ней такое же место, как физические приборы по отношению к физике.

Кибернетика изучает процессы передачи, хранения и переработки информации с помощью ЭВМ, но только с точки зрения задач и функций управления. Информатика же исследует процессы преобразования и создания новой информации с гораздо более широкой точки зрения, не ограничиваясь только задачами управления. На основании сказанного трудно провести четкую границу между информатикой и кибернетикой. Идея управления, ядром которого является преобразование информации, существует и в информатике как программное управление вычислительным процессом. Информатика как наука не сосредоточивает основное внимание на проблеме управления вообще, но, занимаясь главным образом процессами переработки информации, она вовсе не абстрагируется от проблемы управления, особенно в социальной сфере. Управле-

ние отнюдь не чуждо информатике, так как оно внутренне заложено в самой ЭВМ.

Ядро любого компьютера – вычислительный комплекс, процессор, который управляет всем множеством операций на основе заложенной в него программы, реализуя весь вычислительный процесс. ЭВМ определяется типом процессора, являющегося центральным устройством обработки информации, управляющим остальными устройствами ЭВМ. Кроме того, сама ЭВМ предназначена для использования во внешних по отношению к ней процессах управления, например, для управления технологическими процессами, либо в иных информационных системах и процессах, в которых в той или иной степени также присутствует управление. Вместе с тем было бы ошибочно считать, что в кибернетике информация, проблема связи и вообще информационный подход играют второстепенную роль. Очевидно, что утверждение, будто бы кибернетика не использует ЭВМ, было бы абсурдным.

Таким образом, какой-либо один признак вовсе не является решающим для отличия информатики от кибернетики. Означает ли это, что нет достаточно существенных различий информатики от кибернетики? Можно считать, что кибернетика просто с течением времени трансформировалась в информатику, поскольку нет никаких оснований как для отождествления кибернетики и информатики, так и для их резкого разграничения. Информатика в ее современном виде отнюдь не представляет собой нечто существенно отличное от кибернетики, а оказывается одним из современных направлений ее развития, выступая в большей степени в качестве науки о переработке информации с помощью компьютеров. Получается, что круг проблем, поднятых кибернетикой и включаемых в объем ее понятий, в информатике все же не расширяется, а в известном смысле даже сужается. Следовательно, отношение кибернетики и информатики как научных дисциплин вполне определяется соотношением общего и частного, но если речь идет об информатике как единстве науки, техники и производства, то она выходит в этом смысле за рамки кибернетики, представляя более широкую сферу и систему деятельности

Информационные технологии (ИТ). В качестве источника ИТ имеют информацию, которая одновременно является результатом деятельности. В материальном производстве под технологией обычно понимают совокупность методов производства, обработки, изменения свойств, формы, состояния вещества и энергии. ИТ, имея дело с материальными носителями информации (веществом и энергией), по своей природе связана с идеальными объектами (если речь идет о соответствующей части социальной информации), то есть представляет собой «интеллектуальную» технологию, именно поэтому искусственный интеллект и считается основой новой ИТ.

Автоматизация таких технологий, как редакционно-издательская деятельность, проектно-конструкторские работы и т.д. приводит к вытеснению их бумажных носителей, что позволяет говорить о становлении безбумажной индустрии переработки информации. Автоматизации поддаются все формы движения информации, для которых созданы специальные технические средства. Для передачи информации используются технические средства связи и передачи данных. Получение и ввод информации обеспечиваются датчиками, терминалами, клавиатурой персонального компьютера и т.п., ее хранение – машинной памятью, банками и базами данных и знаний, переработка – микропроцессорами, вывод и представление – индикаторами, принтерами, дисплеями и т.д.

В отличие от вещественно-энергетических технологий (ВЭТ) ИТ имеют дело прежде всего с принципиально иным – нематериальным, идеальным ресурсом и фактором, при этом не означающим, что в ходе развития ИТ нет движения вещества, энергии, входящих в состав материальных носителей идеальной информации. Однако главное, ради чего возникли ИТ, – развитие интеллектуальной деятельности, усиление творческих возможностей сознания человека, наложило свой отпечаток на социально-информационные процессы, и в частности на ИТ, независимо от того, в какой материальной форме они реализовались – бумажной, бумажной или электронной. Речь идет о том, что в традиционных технологиях использовалось прежде всего такое всеобщее свойство материи (атрибут), как взаимодействие, а в ИТ – другое, тесно связанное с предыдущим атри-

бутом, – отражение. С философской точки зрения это имеет принципиальное значение, ибо, различаясь и развиваясь, взаимодействие и отражение постепенно привели к формированию того феномена и атрибута социального уровня материи, который получил философский статус «идеального». В основе деятельности природы традиционных технологий лежало взаимодействие, а ИТ – отражение, или, как иногда говорят, «деятельность отражения».

Автоматическая обработка информации с помощью ЭВМ считается новыми ИТ (НИТ). НИТ в настоящее время – это использование самых последних достижений информатики – ЭВМ последнего поколения, телекоммуникационные системы и прежде всего сети Интернет, средства искусственного интеллекта (причем именно последние позволили НИТ именовать еще и интеллектуальными ИТ). Среди новейших интеллектуальных ИТ выделяют искусственные нейронные сети (создаваемые по типу биоаналогов), средства эволюционных вычислений (основанные на формализации и автоматизации природных эволюционных процессов), генетические алгоритмы, с помощью которых происходит имитационное моделирование процесса естественного отбора и другое.

Глобальный характер информатизации. В настоящее время процесс информатизации уже охватил все страны мира, что создает основу для превращения информатизации в весьма существенную глобальную тенденцию развития. Особое значение в этом глобальном измерении приобретает слияние компьютерной техники с телекоммуникацией и создание средств и систем связи, новых социально-информационных сред, обеспечивающих как более надежную связь с помощью традиционных, так и нетрадиционных средств, в особенности обеспечивающих доступ пользователей ЭВМ к информационным ресурсам, то есть то, что в последнее время получило название медиатизации. При этом наблюдаемый глобальный эффект существенно зависит не только от насыщения компьютерами мирового сообщества, но и от подключения к глобально-коммуникационной сети Интернет (именно этот процесс все чаще именуют «интернетизацией»). Информатизация представляет глобальный процесс не только потому, что все страны и регионы могут быть компьютеризированы, но

и в результате реальной возможности передачи информации из любой точки земного шара в другую, где установлены ЭВМ пользователей. Идет процесс создания интегрированных компьютеризированных систем связи, их сопряжение со средствами массовых коммуникаций.

Информатизация общества включает не только информатизацию отдельных стран и регионов, но и международных связей, что постепенно приведет к информационному единству мировой цивилизации и в перспективе к становлению глобальной информационной цивилизации. Проблему информации и процесс ее решения с полным основанием следует отнести к глобальным проблемам, поскольку проблеме информатизации присущи все характеристики и атрибуты глобальных проблем. Позитивное и интенсивное развитие процесса информатизации разрешит не только глобальную проблему информатизации, но и будет содействовать решению ряда других глобальных проблем, создаст интеллектуальную базу для формирования механизмов выживания всей цивилизации.

Выживание – это общая цель всего человечества, и перед угрозой глобального экоумницида невозможно выживание части цивилизации за счет другой, поэтому лидеры информатизации, если они будут руководствоваться общечеловеческими ценностями и перспективой совместного выживания, вынуждены не только осознать необходимость созидания информационного общества в глобальном масштабе, но и содействовать ускорению информатизации отставших в этом процессе государств и регионов, вместе с тем глобальный характер становления информационного общества как ступени ноосферы не будет исключать специфики и плюрализма информационных обществ в силу исторических, экономических, культурных, политических, национальных и иных особенностей. Информационное общество будет обществом с максимальной степенью разнообразия, которое позволит ему противостоять социальным и природным возмущениям, конфликтам и катастрофам. Лишь такое суперплюралистическое общество, ориентированное тем не менее на единые общечеловеческие ценности и потребности, реализуя стратегию устойчивого развития, сможет не только выжить, но и перейти затем к устойчивому развитию.

Библиографический список

- Goldfein M.D., Ivanov A.V.* Modern Concepts of Natural Science. N. Y., 2013.
- Goldfein M.D., Ivanov A.V., Kozhevnikov N.V.* Fundamentals of General Ecology, Life Safety and Environment Protection. N. Y., 2010.
- Адамов А.К.* Основы ноосферной философии. Саратов, 2014.
- Акифьев А.П.* Генетика и судьбы. М., 2001.
- Ананьев Б.Г.* Системный подход в современной науке. М., 2002.
- Ананьев Б.Г.* Человек как предмет познания. М., 2001.
- Араго Ф.* Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. М.; Ижевск, 2000. Т. 1–3.
- Арефьева Г.С.* и др. Постклассический подход к познанию социального и этнического // Философия и общество. 2002. № 1. С. 16–45.
- Арнольд В.И.* Теория катастроф. М., 2004.
- Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д.* Космология и физический вакуум. М., 2007.
- Барашенков В.С.* Существуют ли границы науки: количественная и качественная неисчерпаемость материального мира. М., 1982.
- Барлыбаев Х.А.* Общая теория глобализации и устойчивого развития. М., 2003.
- Бейтсон Г.* Экология разума. М., 2000.
- Бердышев С.Н.* Законы земли. М., 2001.
- Бердышев С.Н.* Законы космоса. М., 2002.
- Биоэтика: проблемы и перспективы.* М., 1992.
- Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М., 1961.
- Боринская С.А.* Принципы эволюции в природе и обществе. М., 2002.
- Браун М.А., Яппа Ю.А., Козырев А.Н.* и др. Физика на пороге новых открытий. М., 1990.
- Бринчук М.М., Мاستушкин М.Ю., Урсул А.Д.* Правовые аспекты устойчивого развития. М., 2004.
- Бруно Дж.* Избранное. Самара, 2000.
- Будыко М.И.* Эволюция биосферы. Л., 1984.
- Бурбак И.Н.* Очерки по истории математики. М., 1963.
- Василькова В.В.* Порядок и хаос в развитии социальных систем: синергетика и теория социальной самоорганизации. СПб., 1999.
- Вейнберг С.* Первые три минуты. М., 1981.
- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. М., 1989.

- Винер Н.* Человек управляющий. СПб., 2001.
- Винокуров И., Гуртовой Г.* Психотропная война. М., 1993.
- Возможности и границы познания. М., 1995.
- Волошинов А. В.* Математика и искусство. М., 1992.
- Волькенштейн М.В.* Биофизика. М., 1988.
- Воробьев Н.Н.* Числа Фибоначчи. М., 1984.
- Габдуллин Р.Р., Ильин И.В., Иванов А.В.* Эволюция Земли и жизни. М., 2005.
- Гайденко П.П.* Эволюция понятия науки. М., 1980.
- Гайсинович А.Е.* Зарождение и развитие генетики. М., 1988.
- Галимов Э.М.* Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М., 2001.
- Гачев Г.* Книга удивлений, или Естествознание глазами гуманитария, или Образы в науке. М., 1991.
- Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. М., 1989.
- Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. М., 1987.
- Герасимов И.Г.* Структура научного исследования. М., 1985.
- Гинзбург В.Л.* О физике и астрофизике. М., 1985.
- Глобальный эволюционизм. М., 1994.
- Гольдфейн М.Д., Иванов А.В., Кожевников Н.В. и др.* Безопасность жизнедеятельности и эколого-экономические проблемы природопользования. М., 2008.
- Гольдфейн М.Д., Кожевников Н.В., Иванов А.В. и др.* Основы экологии, безопасности жизнедеятельности и экономико-правового регулирования природопользования. М., 2006.
- Горохов В.Г.* Концепции современного естествознания и техники. М., 2000.
- Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., 1995.
- Грибанов Д.П.* Философские взгляды А. Эйнштейна и развитие теории относительности. М., 1987.
- Григорьев В.И.* Наука в контексте культуры. М., 1981.
- Гумилев Л.Н.* Этногенез и биосфера Земли. М., 1994.
- Гуревич И.М.* Законы информатики – основа строения и познания сложных систем. М., 2007.
- Данин Д.С.* Вероятностный мир. М., 1981.
- Дарвин Ч.* О выражении эмоций у человека и животных. СПб., 2001.
- Дарвин Ч.* Происхождение видов путем естественного отбора. СПб., 1991.
- Дэвис П.* Суперсила. М., 1989.

- Евин И.А.* Синергетика искусства. М., 1993.
- Единство научного знания. М., 1988.
- Естествознание: энциклопедический словарь. М., 2002.
- Заблуждающийся разум? Многообразие вненаучного знания. М., 1990.
- Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю.* Драма идей в познании природы: частицы, поля, заряды. М., 1988.
- Зорич В.А.* Язык естествознания: математическая азбука. М., 2011
- Ильинский И.М.* Между будущим и прошлым: социальная философия происходящего. М., 2006.
- Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И.* Уставы небес. 16 глав о науке и вере. Екатеринбург, 2000.
- Ичас М.* О природе живого. М., 1994.
- Каку М.* Физика невозможного. М., 2009.
- Кант И.* Метафизические начала естествознания. М., 2002.
- Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего. М., 1997.
- Капра Ф.* Дао физики. Киев, 2002.
- Капра Ф.* Паутина жизни. Киев, 2002.
- Капустин В.С.* Синергетика социальных процессов : учеб. пособие. М., 1999.
- Караченцев И.Н., Чернин А.Д.* Острова в океане темной энергии // В мире науки. 2006. № 11.
- Карнап Р.* Философские основания физики. М., 1971.
- Кацук А.С.* Фрагменты новой картины мира. Воронеж, 1999.
- Кедров Б.М.* Классификация наук. М., 1989. Т. 1, 2.
- Климонтович Н.Ю.* Без формул о синергетике. Минск, 1986.
- Князев В.Н.* Концепция взаимодействия в современной физике. М., 1991.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. М., 2002.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Атропный принцип в синергетике // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 62–79.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М., 1994.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Синергетика: нелинейность времени и ландшафты коэволюции. М., 2007.
- Кожевников Н.В.* Стабильные радикалы в реакции полимеризации. Saardruken, 2014.

Конселис К. Невидимая рука Вселенной // В мире науки. 2006. № 6.

Концепция самоорганизации: становление нового образа научного мышления. М., 1994.

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология: конспект лекций. Ростов н/Д, 2005.

Кочергин А.Н. Научное познание: формы, методы, подходы. М., 1991.

Кузнецов В.И. Общая химия: тенденции развития. М, 1989.

Кун Т. Структура научных революций, М., 2001.

Лакатос И. Методология научных исследовательских программ // Вопросы философии, 1995. № 4.

Леонова Л.С. «Я не могу уйти в одну науку»: общественно-политические взгляды В.И. Вернадского. СПб., 2000.

Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М., 1990.

Лоренц К. Агрессия. Так называемое зло. СПб., 2001.

Лотман Ю.М. История и типология русской культуры. СПб., 2002.

Мак-Фарленд Д. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция. М., 1988.

Моисеев Н.Н. Универсальный эволюционализм. М., 1991.

Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. М., 2001.

Назаретян Н.Н. Интеллект во Вселенной. М., 1990.

Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: учеб. пособие. М., 2002.

Наука и квазинаучные формы духовной культуры. М., 1999.

Небел Б. Наука об окружающем мире. Как устроен мир. М., 1993.

Нелинейная динамика глобальных процессов в природе и обществе / под. ред. И.В. Ильина, Д.И. Трубецкова, А.В. Иванова. М., 2014.

Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М., 1990.

Николсон И. Тяготение, черные дыры и Вселенная. М., 1983.

Новая технократическая волна на Западе. М., 1986.

Новиков И.Д. Инфляционная модель ранней Вселенной // Вестник РАН. 2001. Т. 71, № 10.

Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М., 1996.

Павленко А.И. Европейская космология. М., 1997.

Панин В. Научные открытия, меняющие мир: безопасен ли адронный коллайдер, будут ли люди носить электронные чипы прямо в мозге, станет ли клонирование органов панацеей от всех болезней, насколько реальны колонии на Луне и Марсе, сможет ли искусственный интеллект стать божеством. М., 2011.

Панов А.Д. Универсальная эволюция и проблемы поиска внеземного разума (SETI). М., 2008.

Парахонский Э.В., Маховикова Г.А. Экология: конспект лекций. М., 2006.

Поведение приматов и проблемы антропогенеза. М., 1991.

Поликарпов В.С. Наука и мистицизм в XX в. М., 1990.

Поппер К. Логика и рост научного знания. М., 1983.

Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. М., 1985.

Пригожин И. Философия нестабильности. URL: <http://www.PHILOSOPHY.ru53\library\vopros\51.html>

Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М., 1994.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 2001.

Принципы историографии естествознания: XX век. СПб., 2001.

Пуанкаре А. О науке. М., 1983.

Раушенбах Б. Пристрастие. М., 1997.

Ребанс К.К. Энергия, энтропия, окружающая среда. Таллин, 1984.

Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М., 1994.

Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М., 1984.

Рубцов В.В., Урсул А.Д. Проблема внеземных цивилизаций. Кишинев, 1987.

Самин Д.К. Сто великих научных открытий. М., 2002.

Самин Д.К. Сто великих ученых. М., 2002.

Самоорганизация в науке: опыт философского осмысления. М., 1994.

Самоорганизация: кооперативные процессы в природе и обществе. М., 1990. Ч. 1.

Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды. М., 1987.

Светлов С.В. Биотехнологии: основания, развитие, перспективы. М., 2003.

Сеченов И.М. Элементы мысли. СПб., 2001.

Синергетика. Труды семинара: естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты. М., 1999. Т. 2.

Сноу Ч. Две культуры. М., 1973.

Современные философские проблемы естественных, технических и социально-гуманитарных наук: учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук / под общ. ред. В.В. Миринова. М., 2006.

Сойфер В. Власть и наука. История разгрома генетики в СССР. М., 1993.

- Спасский Б.И.* Физика для философов. М., 1989.
- Степин В.С.* Научная картина мира // Новая философская энциклопедия. М., 2001. Т. 3.
- Степин В.С.* Философия науки. Общие проблемы: учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук. М., 2006.
- Тинберген Н.* Социальное поведение животных. М., 1992
- Трофименко А.П.* Вселенная: творение или развитие? Минск, 1987.
- Уилсон Р.А.* Квантовая психология. Киев, 1998.
- Урсул А.Д.* Универсальный эволюционизм: концепции, подходы, принципы, перспективы: учеб. пособие, 2007.
- Урсул А.Д.* Информатизация общества. Введение в социальную информатику. М., 1990.
- Урсул А.Д.* Научная картина мира XXI века: темная материя и универсальная эволюция // Безопасность Евразии. 2009. № 1.
- Урсул А.Д.* Образование для устойчивого развития: научные основы. М., 2004.
- Урсул А.Д.* Переход России к устойчивому развитию. Ноосферная стратегия. М., 2004.
- Урсул А.Д., Романович А.Л.* Безопасность и устойчивое развитие. М., 2001.
- Успенский Г.Р.* Космонавтика XXI века. М., 1994.
- Успенский П.Д.* Новая модель Вселенной. М., 2000.
- Федотов А.Б.* Глобалистика: начала науки о современном мире: учеб. пособие. М., 2002.
- Фейерабенд П.* Избранные труды по методологии науки. М., 1986.
- Фейнберг Е.Л.* Две культуры. Интуиция и логика в науке и искусстве. М., 1992.
- Фейнберг Е.Л.* Кибернетика, логика, искусство. М., 1981.
- Фиашмарион К.* Неведомое. М., 2001.
- Философия природы: коэволюционная стратегия. М., 1996.
- Философия современного естествознания: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. С.А. Лебедева. М., 2004.
- Философские аспекты глобальной экологии. М., 1989.
- Фоули Р.* Еще один неповторимый вид. Экологические аспекты эволюции человека. М., 1990.
- Хайдеггер М.* Время и бытие. М., 1993.
- Хакен Г.* Синергетика. М., 1980.
- Хакинг Я.* Представление и вмешательство. Введение в философию естественных

наук / пер. с англ. С. Кузнецова; науч. ред. Е.А. Мамчур. М., 1998.

Хван М.П. Неистовая Вселенная: от Большого Взрыва до ускоренного расширения, от кварков до суперструн. М., 2006.

Хван Н.П. Неистовая Вселенная: от Большого Взрыва до ускоренного расширения, от кварков до суперструн. М., 2006.

Хокинг С. От Большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени. М., 1990.

Хокинг С., Пенроуз Р. Природа пространства и времени. СПб., 2007.

Ценности познания и гуманизация науки. М., 1992.

Циолковский К.Э. Очерки о Вселенной. М., 1992.

Человек, космос, эволюция. М., 1992.

Черепашук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино, 2007.

Черепашук А.М. Черные дыры во Вселенной. Фрязино, 2005.

Чернавский Д.С. Синергетика и информация. М., 2002.

Чернин А.Д. Космология: Большой взрыв. Фрязино, 2005.

Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М., 1995.

Шалаев В.П. Синергетика человека, общества, природы: управленческий аспект: учеб. пособие. Йошкар-Ола, 2000.

Швейцер А. Благоговение перед жизнью. М., 1992.

Швырев В.С. Научное познание как деятельность. М., 1998.

Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., 1974.

Шкловский И.С. Звезды, их рождение, жизнь и смерть. М., 1975.

Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. М., 1972.

Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. М., 2001.

Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М., 1973.

Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение) // Собр. науч. трудов: в 4-х т. М., 1965. Т. 1.

Энгельгардт В.А. Познание явлений жизни. М., 1984.

Энциклопедия «Современное естествознание». М., 2000–2001.

Эстетика природы. М., 1994.

Югай Г.А. Общая теория жизни. М., 1985.

Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М., 1988.

URL: <http://www.i-nauka.ru>

URL: <http://www.countries.ru/library>

URL: <http://novostynauki.com>

URL: <http://oko-planet.su/science/sciencenews>

URL: <http://www.nkj.ru/news>

URL: <http://sci-lib.com>

Лауреаты Нобелевской премии по физике

1901	Вильгельм Конрад Рентген (27.03.1845 – 10.02.1923) Германия	«В знак признания необычайно важных заслуг перед наукой, выразившихся в открытии замечательных лучей, названных впоследствии в его честь».
1902	Хендрик Антон Лоренц (18.07.1853 – 04.02.1928) Нидерланды; Питер Зеeman (25.05.1865 – 09.10.1943) Нидерланды	«За выдающиеся заслуги в исследованиях влияния магнетизма на радиационные явления».
1903	Антуан Анри Беккерель ($\frac{1}{2}$ премии) (15.12.1852 – 2.08.1908) Франция Пьер Кюри ($\frac{1}{4}$ премии) (15.05.1859 – 19.04.1906) Франция; Мария Кюри ($\frac{1}{4}$ премии) (07.11.1867 – 04.07.1934) Франция	«В знак признания исключительных услуг, которые он оказал науке своим открытием самопроизвольной радиоактивности». «В знак признания исключительных услуг, которые они оказали науке совместными исследованиями явлений радиации, открытой профессором Анри Беккерелем».
1904	Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей) (12.11.1842 – 30.06.1919) Великобритания	«За исследования плотностей наиболее распространенных газов и за открытие аргона в ходе этих исследований».
1905	Филипп Эдуард Антон фон Ленард (07.06.1862 – 20.05.1947) Австро-Венгрия	«За исследовательские науки по катодным лучам».
1906	Джозеф Джон Томсон (18.12.1856 – 30.08.1940) Великобритания	«В знак признания заслуг в области теоретических и экспериментальных исследований проводимости электричества в газах».
1907	Альберт Абрахам Майкельсон (19.12.1852 – 09.05.1931) США	«За создание точных оптических инструментов и спектроскопических и метрологических исследований, выполненных с их помощью».
1908	Габриэль Липпман (16.08.1845 – 13.07.1921) Франция	«За создание метода фотографического воспроизведения цветов на основе явления интерференции».
1909	Гульемо Маркони (25.04.1874 – 20.07.1937) Италия; Карл Фердинанд Браун (06.06.1850 – 20.04.1918) Германия	«За выдающийся вклад в создание беспроводной телеграфии».
1910	Ян Дидерик Ван-Дер-Ваальс (23.11.1837 – 08.03.1923) Нидерланды	«За работу над уравнением состояния газов и жидкостей».
1911	Вильгельм Вин (13.01.1864 – 30.08.1928) Германия	«За открытия в области законов, управляющих тепловым излучением» (Закон смещения Вина).
1912	Нильс Густав Дален (30.11.1869 – 09.12.1937) Швеция	«За изобретение автоматических регуляторов, используемых в сочетании с газовыми аккумуляторами для источников света на маяках и буях».
1913	Хейке Камерлинг-Оннес (21.09.1853 – 21.02.1926) Нидерланды	«За исследования свойств вещества при низких температурах, которые привели к производству жидкого гелия».
1914	Макс фон Лауэ	«За открытие дифракции рентгеновских лучей на

	(09.10.1879 – 24.04.1960) Германия	кристаллах».
1915	Уильям Генри Брэгг (02.07.1862 – 12.03.1942) Великобритания; Уильям Лоренц Брэгг (31.03.1890 – 01.07.1971) Великобритания	«За заслуги в исследовании кристаллов с помощью рентгеновских лучей».
1916	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1917	Чарлз Гловер Баркла (07.06.1877 – 23.10.1944) Великобритания	«За открытие характеристического рентгеновского излучения элементов».
1918	Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (23.04.1858 – 04.10.1947) Германия	«В знак признания его заслуг в развитии физики благодаря открытию квантов энергии».
1919	Йоханнес Штарк (15.04.1874 – 21.06.1957) Германия	«За открытие эффекта Доплера в канальных лучах и расщепления спектральных линий в электрическом поле».
1920	Шарль Эдуард Гийом (15.02.1861 – 13.06.1938) Франция	«В знак признания его заслуг перед точными изменениями в физике – открытие аномалий в никелевых стальных сплавах».
1921	Альберт Эйнштейн (14.03.1879 – 18.04.1955) Германия	«За заслуги перед теоретической физикой и особенно за объяснение закона фотоэлектрического эффекта».
1922	Нильс Бор (14.03.1885 – 18.11.1962) Дания	«За заслуги в исследовании строения атомов и испускаемого ими излучения».
1923	Роберт Эндрюс Милликен (22.03.1868 – 19.12.1953) США	«За работы по определению элементарного электрического заряда и по фотоэлектрическому эффекту».
1924	Манне Сигбан (03.12.1886 – 26.09.1978) Швеция	«Открытия и исследования в области рентгеновской спектроскопии».
1925	Джеймс Франк (26.08.1882 – 21.05.1964) Германия; Густав Людвиг Герц (22.07.1887 – 30.10.1975) Германия	«За открытие законов соударения электрона с атомом».
1926	Жан Батист Перрен (30.09.1870 – 17.04.1942) Франция	«За работу по дискретной природе материи и в особенности за открытие седиментационного равновесия».
1927	Артур Холи Комптон (10.09.1892 – 15.03.1962) США	«За открытие эффекта, названного его именем».
	Чарльз Томсон Риз Вильсон (14.02.1869 – 15.11.1959) Шотландия	«За метод визуального обнаружения траекторий электрически заряженных частиц с помощью конденсации пара».
1928	Оуэн Уильямс Ричардсон (26.04.1892 – 15.02.1959) Великобритания	«За работы по термийным исследованиям, и особенно за открытие закона, носящего его имя».
1929	Луи де Бройль (15.08.1892 – 19.03.1987) Франция	«За открытие волновой природы электронов».
1930	Чандрасекара Венката Раман (07.11.1888 – 21.11.1970) Индия	«За работы по рассеянию света и за открытие эффекта, названного в его честь».
1931	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1932	Вернер Карл Гейзенберг (05.12.1901 – 01.02.1976) Германия	«За создание квантовой механики, применение которой привело, помимо прочего, к открытию аллотропических форм водорода».

1933	Эрвин Шрёдингер (12.08.1887 – 04.01.1961) Австрия; Поль Адриен Морис Дирак (08.08.1902 – 20.10.1984) Великобритания	«За открытие новых продуктивных форм атомной теории».
1934	Премия не присуждалась	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1935	Джеймс Чедвик (20.10.1891 – 24.07.1974) Великобритания	«За открытие нейтрона».
1936	Виктор Франц Гесс (24.06.1883 – 17.12.1964) США	«За открытие космических лучей».
	Карл Дэвид Андерсон (03.09.1905 – 11.01.1991) США	«За открытие позитрона».
1937	Клинтон Джозеф Дэвиссон (22.10.1881 – 01.02.1958) США; Джордж Томсон (03.05.1892 – 10.09.1975) Великобритания	«За экспериментальное открытие дифракции электронов на кристаллах».
1938	Энрико Ферми (29.09.1901 – 28.11.1954) США	«За доказательства существования новых радиоактивных элементов, полученных при облучении нейтронами, и связанное с этим открытие ядерных реакций, вызываемых медленными нейтронами».
1939	Эрнест Орландо Лоуренс (08.08.1901 – 27.08.1958) США	«За изобретение и создание циклотрона, за достигнутые с его помощью результаты, особенно получение искусственных радиоактивных элементов».
1940	Премия не присуждалась	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1941	Премия не присуждалась	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1942	Премия не присуждалась	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1943	Отто Штерн (17.02.1888 – 17.08. 1969) Германия	«За вклад в развитие метода молекулярных пучков и открытие и измерение магнитного момента протона».
1944	Исидор Айзек Раби (29.07.1898 – 11.01.1988) США	«За резонансный метод измерений магнитных свойств атомных ядер».
1945	Вольфган Паули (25.04.1900 – 15.12.1958) Швейцария	«За открытие принципа запрета Паули».
1946	Перси Уильямс Бриджмен (21.04.1882 – 20.08.1961) США	«За изобретение прибора, позволяющего создавать сверхвысокие давления, и за открытия, сделанные в связи с этим в физике высоких давлений».
1947	Эдуард Виктор Эплтон (06.09.1892 – 21.04.1965) Великобритания	«За исследования физики верхних слоев атмосферы, в особенности за открытие так называемого слоя Эплтона».
1948	Патрик Мейнард Стюарт Блэкетт (18.11.1897 – 13.07.1974) Великобритания	«За усовершенствование метода камеры Вильсона и сделанные в связи с этим открытия в области ядерной физики и космической радиации».
1949	Хидеки Юкава (23.01.1907 – 08.09.1981) Япония	«За предсказание существования мезонов на основе теоретической работы по ядерным силам».
1950	Сесил Фрэнк Пауэлл (05.12.1903 – 09.08.1969) Великобритания	«За разработку фотографического метода исследования ядерных процессов и открытие мезонов, осуществленное с помощью этого метода».
1951	Джон Дуглас Кокрофт	«За исследовательскую работу по превращению

	(27.05.1897 – 18.09.1967) Великобритания; <i>Эрнест Томас Синтон Уолтон</i> (06.10.1903 – 25.06.1995) Ирландия	атомных ядер с помощью искусственно ускоряемых атомных частиц».
1952	<i>Феликс Блох</i> (23.10.1905 – 10.09.1983) США; <i>Эдвард Миллс Пёрселл</i> (30.08.1912 – 07.03.1997) США	«За развитие новых методов для точных ядерных магнитных измерений и связанные с этим открытия».
1953	<i>Фриц Цернике</i> (16.07.1888 – 10.03.1966) Нидерланды	«За обоснование фазово-контрастного метода, особенно за изобретение фазово-контрастного микроскопа».
1954	<i>Макс Борн</i> (11.12.1882 – 05.01.1970) Германия	«За фундаментальные исследования по квантовой механике, особенно за его статистическую интерпретацию волновой функции».
	<i>Вальтер Боте</i> (08.01.1891 – 08.02.1957) Германия	«За метод совпадений для обнаружения космических лучей и сделанные в связи с этим открытия».
1955	<i>Уиллис Юджин Лэмб</i> (12.07.1913 – 21.05.2008) США	«За открытия, связанные с тонкой структурой спектра водорода».
	<i>Поликарп Куш</i> (26.01.1911 – 20.03.1993) США	«За точное определение магнитного момента электрона».
1956	<i>Уильям Бредфорд Шокли</i> (13.02.1908 – 12.08.1989) США; <i>Джон Бардин</i> (23.05.1908 – 30.01.1991) США; <i>Уолтер Хаузер Браттейн</i> (10.02.1902 – 13.10.1987) США	«За исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта».
1957	<i>Чжэньнин Янг</i> (род. 01.10.1922) Китай; <i>Цзундао Ли</i> (род. 24.11.1926) Китай	«За предвидение при изучении так называемых законов четности, которое привело к важным открытиям в области элементарных частиц».
1958	<i>Павел Алексеевич Черенков</i> (28.07.1904 – 06.01.1990) СССР; <i>Илья Михайлович Франк</i> (10(23).10.1908 – 22.06.1990) СССР; <i>Игорь Евгеньевич Тамм</i> (26.06.(08.07.)1895 – 12.04.1971) СССР	«За открытие и истолкование эффекта Черенкова».
1959	<i>Эмилио Джино Сегре</i> (01.02.1905 – 22.04.1989) США; <i>Оуэн Чемберлен</i> (10.07.1920 – 28.02.2006) США	«За открытие антипротона».
1960	<i>Дональд Артур Глазер</i> (род. 21.09.1926) США	«За изобретение пузырьковой камеры».
1961	<i>Роберт Хофштедтер</i> (05.02.1915 – 17.11.1990) США	«За основополагающие исследования по рассеянию электронов на атомных ядрах и связанные с ними открытия в области структуры нуклонов».
	<i>Рудольф Людвиг Мёсбауэр</i>	«За исследования резонансного поглощения гам-

	(род. 31.01.1929) Германия	ма-излучения и открытие в связи с этим эффекта, носящего его имя».
1962	Лев Давидович Ландау (09(22).01.1908 – 01.04.1968) СССР	«За его пионерские теории конденсированных сред и особенно жидкого гелия».
1963	Юджин Пол Вигнер (¹ / ₂ премии) (17.11.1902 – 01.01.1995) США	«За вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц, особенно с помощью открытия и приложения фундаментальных принципов симметрии».
	Мария Гёпперт-Майер (¹ / ₄ премии) (28.06.1906 – 20.02.1972) США; Ханс Йенсен (25.06.1907 – 11.02.1973) Германия	«За открытия, касающиеся оболочечной структуры ядра».
1964	Чарльз Хард Таунс (¹ / ₂ премии) (род. 28.07.1915) США; Николай Геннадиевич Басов (¹ / ₄ премии) (14.12.1922 – 01.07.2001) СССР; Александр Михайлович Прохоров (¹ / ₄ премии) (11.07.1916 – 08.01.2002) СССР	«За фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на лазерно-мазерном принципе».
1965	Синъитиро Томонага (31.03.1906 – 08.07.1979) Япония; Джулиус Швингер (12.02.1918 – 16.07.1994) США; Ричард Филип Фейнман (11.05.1918 – 15.02.1988) США	«За фундаментальные работы по квантовой электродинамике, имевшие глубокие последствия для физики элементарных частиц».
1966	Альфред Кастлер (03.05.1902 – 07.01.1984) Франция	«За открытие и разработку оптических методов исследования резонансов Герца в атомах».
1967	Ханс Альбрехт Бете (02.07.1906 – 06.03.2005) США	«За вклад в теорию ядерных реакций, особенно за открытия, касающиеся источников энергии звезд».
1968	Луис Уолтер Альварес (13.06.1911 – 01.09.1988) США	«За исключительный вклад в физику элементарных частиц, в частности за открытие большого числа резонансов, что стало возможным благодаря разработанной им технике с использованием водородной пузырьковой камеры и оригинальному анализу данных».
1969	Марри Гелл-Манн (род. 15.09.1929) США	«За открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий».
1970	Ханнес Альфвен (30.05.1908 – 02.04.1995) Швеция	«За фундаментальные работы и открытия в магнитной гидродинамике и плодотворные приложения их в различных областях физики».
	Луи Эжен Фелик Нель (22.11.1904 – 17.11.2000) Франция	«За фундаментальные труды и открытия, касающиеся антиферромагнетизма и ферромагнетизма, которые повлекли за собой важные приложения в области физики твердого тела».
1971	Денис Габор (05.06.1900 – 09.02.1979) Великобритания	«За изобретение и разработку голографического метода».

1972	<i>Джон Бардин</i> (23.05.1908 – 30.01.1991) США; <i>Леон Нил Купер</i> (род. 28.02.1930) США; <i>Джон Роберт Шрифер</i> (род. 31.05.1931) США	«За создание теории сверхпроводимости, обычно называемой БКШ-теорией».
1973	<i>Брайан Дэвид Джозефсон</i> (¹ / ₂ премии) (род. 04.01.1940) Великобритания <i>Лео Эсаки</i> (¹ / ₄ премии) (род. 12.03.1925) Япония; <i>Айвор Джайвер</i> (¹ / ₄ премии) (род. 05.04.1929) Норвегия, США	«За теоретическое предсказание свойств тока, проходящего через туннельный барьер, в частности явлений, общеизвестных ныне под названием эффектов Джозефсона». «За экспериментальные открытия туннельных явлений в полупроводниках и сверхпроводниках».
1974	<i>Мартин Райл</i> (27.09.1918 – 14.10.1984) Великобритания; <i>Энтони Хьюиш</i> (род. 11.05.1924) Великобритания	«За пионерские исследования в области радиофизики».
1975	<i>Оге Нильс Бор</i> (19.06.1922 – 08/09.09.2009) Дания; <i>Бен Рой Моттelson</i> (09.07.1926) США, Дания; <i>Лео Джеймс Рейнуотер</i> (09.12.1917 – 31.05.1986) США	«За открытие взаимосвязи между коллективным движением и движением отдельной частицы в атомном ядре и развитие теории строения атомного ядра, базирующейся на этой взаимосвязи».
1976	<i>Бертон Рихтер</i> (род. 22.03.1931) США; <i>Сэмюэл Тинг</i> (род. 27.01.1936) КНР, США	«За основополагающий вклад по открытию тяжелой элементарной частицы нового типа».
1977	<i>Филипп Уоррен Андерсон</i> (род. 13.12.1923) США; <i>Невилл Франсис Мотт</i> (30.09.1905 – 08.08.1996) Великобритания; <i>Джон Ван Флек</i> (13.03.1899 – 27.10.1980) США	«За фундаментальные теоретические исследования электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем».
1978	<i>Петр Леонидович Капица</i> (¹ / ₂ премии) (26.06.(09.07.)1894 – 08.04.1984) СССР <i>Арно Алан Пензиас</i> (¹ / ₄ премии) (род. 26.04.1933) США; <i>Роберт Вудро Уилсон</i> (¹ / ₄ премии) (род. 10.01.1936) США	«За его базовые исследования и открытия в физике низких температур». «За открытие микроволнового реликтового излучения».
1979	<i>Шелдон Ли Глэшоу</i> (род. 05.12.1932) США;	«За вклад в объединенную теорию слабых и электромагнитных взаимодействий между элементарными частицами, в том числе предсказа-

	<i>Абдус Салам</i> (29.01.1926 – 21.11.1996) Пакистан; <i>Стивен Вайнберг</i> (род. 03.05.1933) США	ние слабых нейтральных токов».
1980	<i>Джеймс Уотсон Кронин</i> (род. 29.09.1931) США; <i>Вал Логсден Фитч</i> (род. 10.03.1923 – 05.02.2015) США	«За открытие нарушений фундаментальных принципов в распаде нейтральных К-мезонов».
1981	<i>Николас Бломберген</i> (¹ / ₄ премии) (род. 20.03.1920) Голландия; <i>Артур Леонард Шавлов</i> (¹ / ₄ премии) (05.05.1921 – 28.04.1999) США	«За вклад в развитие лазерной спектроскопии».
	<i>Кай Сигбан</i> (¹ / ₂ премии) (20.04.1918 – 20.07.2007) Швеция	
1982	<i>Кеннет Вильсон</i> (08.06.1936 – 15.06.2013) США	«За теорию критических явлений в связи с фазовыми переходами».
1983	<i>Субрамания Чандрасекар</i> (19.10.1910 – 21.08.1995) США	«За теоретические исследования физических процессов, играющих важнейшую роль в строении и эволюции звезд».
	<i>Уильям Альфред Фаулер</i> (09.08.1911 – 14.03.1995) США	«За теоретическое и экспериментальное исследование ядерных реакций, имеющих важное значение для образования химических элементов Вселенной».
1984	<i>Карло Рубина</i> (род. 31.03.1934) Италия; <i>Симон ванн дер Мер</i> (24.11.1925 – 04.03.2011) Нидерланды	«За решающий вклад в большой проект, осуществление которого привело к открытию квантов поля W и Z-переносчиков слабого взаимодействия».
1985	<i>Клаус фон Клитцинг</i> (род. 28.06.1943) Германия	За открытие квантового эффекта Холла.
1986	<i>Эрнст Руска</i> (¹ / ₂ премии) (25.12.1906 – 27.05.1988) Германия	«За работу над электронным микроскопом».
	<i>Герд Биннинг</i> (¹ / ₄ премии) (род. 1947) Германия; <i>Генрих Рорер</i> (¹ / ₄ премии) (06.06.1933 – 16.05.2013) Швейцария	«За изобретение сканирующего туннельного микроскопа».
1987	<i>Георг Беднорц</i> (Германия) (род. 16.05.1950) <i>Карл Мюллер</i> (Швейцария) (род. 20.04.1927)	«За важный прорыв в физике, выразившийся в открытии сверхпроводимости в керамических материалах».
1988	<i>Леон Ледерман</i> (род. 15.07.1922) США; <i>Мелвин Шварц</i> (02.11.1932 – 28.08.2006) США;	«За метод нейтринного луча и доказательство двойственной структуры лептонов посредством открытия мюонного нейтрино».

	<i>Джек Стейнбергер</i> (род. 25.05.1921) США	
1989	<i>Норманн Рамзей</i> (¹ / ₂ премии) (27.08.1915 – 04.11.2011) США	«За изобретение метода отдельных колебательных полей и его использование в водородном лазере и других атомных часах».
	<i>Ханс Демелт</i> (¹ / ₄ премии) (род. 09.09.1922) Германия; <i>Вольфганг Пауль</i> (¹ / ₄ премии) (10.08.1913 – 07.12.1993) Австрия	«За разработку метода удержания одиночных ионов».
1990	<i>Джером Фридман</i> (род. 28.03.1930) США; <i>Генри Кеддл</i> (09.12.1926 – 15.02.1999) США; <i>Ричард Тейлор</i> (род. 02.11.1929) Канада, США	«За пионерские исследования глубокоэластичного рассеяния электронов на протонах и связанных нейтронах, существенно важных для разработки кварковой модели в физике частиц».
1991	<i>Пьер Жиль де Жен</i> (24.10.1932 – 18.05.2007) Франция	«За обнаружение того, что методы, развитые для изучения явлений упорядоченности в простых системах, могут быть обобщены на жидкие кристаллы и полимеры».
1992	<i>Жорж Шарпак</i> (01.08.1924 – 29.09.2010) Франция	«За открытие и создание детекторов частиц, в частности многопроволочной пропорциональной камеры».
1993	<i>Рассел Халс</i> (род. 28.11.1950) США; <i>Джозеф Тейлор мл.</i> (род. 29.03.1941) США	«За открытие нового типа пульсаров, давшее новые возможности в изучении гравитации».
1994	<i>Бертрам Брокхауз</i> (15.07.1918 – 13.10.2003) Канада	«За создание нейтронной спектроскопии».
	<i>Клиффорд Шалл</i> (23.09.1915 – 31.03.2001) США	«За создание метода нейтронной дифракции».
1995	<i>Мартин Перл</i> (24.06.1927 – 30.09.1914) США	«За открытие тау-лептона».
	<i>Фредерик Рейнс</i> (16.03.1918 – 26.08.1998) США	«За экспериментальное обнаружение нейтрино».
1996	<i>Дэвид Ли</i> (род. 20.01.1931) США; <i>Дуглас Ошеров</i> (род. 01.08.1945) США; <i>Роберт Ричардсон</i> (26.06.1937 – 19.02.2013) США	«За открытие сверхтекучести гелия-3».
1997	<i>Стивен Чу</i> (28.02.1948 – 22.04.2013) США; <i>Клод Козн-Таннуджи</i> (род. 01.04.1933) Франция; <i>Уильям Филипс</i> (род. 05.11.1948)	«За создание методов охлаждения и улавливания атомов лазерным лучом».

	США	
1998	Роберт Лафлин (род. 01.11.1950) США; Хорст Штермер (род. 06.04.1949) Германия; Дэниел Цуи (род. 28.02.1939) США	«За открытие новой формы квантовой жидкости (при низких температурах и сильном магнитном поле) и частиц с новыми свойствами, имеющими, в частности, дробный электрический заряд».
1999	Герард Хоофт (род. 05.07.1946) Нидерланды; Мартин Вельтман (род. 27.06.1931) США	«За прояснение квантовой структуры электрослабых взаимодействий».
2000	Жорес Иванович Алфёров (¹ / ₄ премии) (род. 15.03.1930) Россия; Герберт Крёмер (¹ / ₄ премии) (род. 25.08.1928) Германия	«За разработку полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокочастотных схемах и оптоэлектронике».
	Джек Килби (¹ / ₂ премии) (08.11.1923 – 20.06.2005) США	«За участие в изобретении интегральной схемы».
2001	Эрик Корнелл (род. 19.12.1961) США; Вольфганг Кеттерле (род. 21.10.1957) Германия; Карл Виман (род. 26.03.1951) США	«За достижения в изучении процессов конденсации Бозе – Эйнштейна в среде разряженных газов и за начальные фундаментальные исследования характеристик конденсатов».
2002	Раймонд Дэвис мл. (¹ / ₄ премии) (14.10.1914 – 31.05.2006) США; Масатоби Косиба (¹ / ₄ премии) (род. 19.09.1926) Япония	«За пионерский вклад в астрофизику, в частности за обнаружение космических нейтрино».
	Риккардо Джаккони (¹ / ₂ премии) (род. 06.10.1931) Италия	«За изыскания в области астрофизики, которые привели к открытию космических источников рентгеновского излучения».
2003	Алексей Алексеевич Абрикосов (род. 25.06.1928) Россия; Виталий Лазаревич Гинзбург (04.10.1916 – 08.11.2009) Россия; Энтони Леггет (род. 26.03.1938) Великобритания, США	«За пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей».
2004	Дэвид Гросс (род. 19.02.1941) США; Дэвид Политцер (род. 31.08.1949) США;	«За открытие асимптотической свободы и теории сильных взаимодействий».

Фрэнк Вильчек
(род. 15.05.1951) **США**

- | | | |
|------|--|--|
| 2005 | <p>Рой Глаубер (¹/₂ премии)
(род. 01.09.1925) США</p> | «За вклад в квантовую теорию оптической когерентности». |
| | <p>Джон Холл (¹/₄ премии)
(род. 21.08.1934)
США;</p> | «За вклад в развитие лазерной точной спектроскопии, включая технику прецизионного расчета светового сдвига в оптических стандартах частоты (оптических гребенок)». |
| | <p>Теодор Хениш (¹/₄ премии)
(род. 30.10.1941) Германия</p> | «За открытие анизотропии и чернотельной структуры энергетического спектра космического фонового излучения». |
| 2006 | <p>Джон Метер
(род. 07.03.1938)
США;
Джордж Смут
(род. 20.02.1945)
США</p> | «За открытие анизотропии и чернотельной структуры энергетического спектра космического фонового излучения». |
| 2007 | <p>Альберт Фер
(род. 07.03.1938) Франция;</p> | «За открытие эффекта гигантского магнетосопротивления». |
| | <p>Петер Грюнберг
(род. 18.05.1939)
Германия</p> | |
| 2008 | <p>Ёитиру Намбу (¹/₂ премии)
(18.01.1921 – 05.07.2015)
США, Япония</p> | «За открытие механизма спонтанного нарушения симметрии в субатомной физике». |
| | <p>Мамото Кобаяси
(¹/₄ премии)
(род. 07.04.1944)
Япония;
Тосихидэ Маскава
(¹/₄ премии)
(род. 07.02.01940)
Япония</p> | «За открытие источника нарушения симметрии, которое позволило предсказать существование в природе по меньшей мере трех семейств кварков». |
| 2009 | <p>Чарль Куэн Као
(¹/₂ премии)
(род. 04.11.1933)
Китай, США</p> | «За революционные достижения, касающиеся передачи света в волокнах для нужд оптической связи». |
| | <p>Уиллард Бойл (¹/₄ премии)
(08.07.1924 – 07.05.2011)
США;
Джордж Смит
(¹/₄ премии)
(род. 10.05.1930)
США</p> | «За изобретение полупроводниковой схемы для регистрации изображений – ПЗС-сенсора». |
| 2010 | <p>Андрей Гейм
(род. 21.10.1958)
Россия;
Константин Новосёлов
(род. 23.08.1974)
Россия</p> | «За новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена». |
| 2011 | <p>Сол Перлмуттер
(род. 22.09.1959)
США;
Брайан Шмидт
(род. 24.02.1967)
США;
Адам Рисс
(род. 16.12.1969)
США</p> | «За открытие ускоренного расширения Вселенной посредством наблюдения дальних сверхновых». |
| 2012 | <p>Серж Арош</p> | «За создание прорывных технологий манипули- |

	(род. 11.09.1944) Франция; <i>Дэвид Вайнленд</i> (род. 24.02.1944) США	рования квантовыми системами, которые сделали возможными измерение отдельных квантовых систем и управление ими».
2013	Франсуа Энглер (род. 06.11.1932) Германия; <i>Питер Хиггс</i> (род. 29.05.1929) Великобритания	«За теоретическое обнаружение механизма, который помогает нам понять происхождение массы субатомных частиц, подтвержденного в последнее время обнаружением предсказанной элементарной частицы в экспериментах ATLAS и CMS на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН».
2014	<i>Исаму Акасан</i> (род. 30.01.1929) Япония; <i>Хироси Аmano</i> (род. 11.09.1960) Япония; <i>Сюдзи Накамура</i> (род. 22.05.1954) Япония, США	«За изобретение эффективных синих светодиодов, приведших к появлению ярких и энергосберегающих источников белого света».
2015	<i>Такааки Кадзита</i> (род. 09.03.1959 г.) Япония;	За открытие нейтринных осцилляций, показывающее, что нейтрино имеют массу

Лауреаты Нобелевской премии по химии

1901	<i>Якоб Хендрик Вант-Гофф</i> (30.08.1852 – 01.03.1911) Голландия	«В знак признания огромной важности открытия законов химической динамики и осмотического давления в растворах».
1902	<i>Герман Эмиль Фишер</i> (09.10.1852 – 15.07.1919) Германия	«За эксперименты по синтезу веществ с сахаридными и пуриновыми группами».
1903	<i>Сванте Август Аррениус</i> (19.02.1859 – 02.10.1927) Швеция	«Присуждена премия как факт признания особого значения его теории электролитической диссоциации для развития химии».
1904	<i>Уильям Рамзай</i> (02.10.1852 – 23.07.1916) Великобритания	«В знак признания открытия им в атмосфере различных инертных газов и определения их места в периодической системе».
1905	<i>Адольф фон Байер</i> (31.10.1835 – 20.08.1917) Германия	«За заслуги в развитии органической химии и химической промышленности благодаря работам по органическим красителям и гидроароматическим соединениям».
1906	<i>Анри Муассан</i> (28.09.1852 – 20.02.1907) Франция	«За получение элемента фтора и введение в лабораторную и промышленную практику электрической печи, названной его именем».
1907	<i>Эдуард Бухнер</i> (20.05.1860 – 13.08.1917) Германия	«За проведенную научно-исследовательскую работу по биологической химии и открытие внеклеточной ферментации».
1908	<i>Эрнест Резерфорд</i> (30.08.1871 – 19.10.1937) Великобритания	«За проведенные им исследования в области распада элементов в химии радиоактивных веществ».
1909	<i>Вильгельм Оствальд</i> (02.09.1853 – 04.04.1932) Латвия	«В знак признания проделанной им работы по катализу, а также за исследования основных принципов управления химическим равновесием и скоростями реакции».
1910	<i>Отто Валлах</i> (27.03.1847 – 26.02.1931) Германия	«В знак признаний его достижений в области развития органической химии и химической промышленности, а также за то, что он первым осуществил работу в области алициклических соединений».
1911	<i>Мария Кюри</i>	«За выдающиеся заслуги в развитии химии: от-

	(07.11.1867 – 04.07.1934) Франция	крытие элементов радия и полония, выделение радия и изучение природы и соединений этого замечательного элемента».
1912	Виктор Гриньяр (06.05.1871–13.12.1935) Франция	«За открытие реактива Гриньяра, способствовавшего развитию органической химии».
	Поль Сабатье (05.11.1854 – 14.08.1941) Франция	«За метод гидрогенизации органических соединений в присутствии мелкодисперсных металлов, который резко стимулировал развитие органической химии».
1913	Альфред Вернер (12.12.1866 – 15.11.1919) Швейцария	«За работу о природе связей атомов в молекулах в области неорганической химии».
1914	Теодор Уильям Ричардс (31.01.1868 – 02.04.1928) Германия	«За точное определение атомных масс большого числа химических элементов».
1915	Рихард Мартин Вильштеттер (13.08.1872 – 03.08.1942) Германия	«За исследования красящих веществ растительного мира, особенно хлорофилла».
1916	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1917	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1918	Фриц Габер (09.12.1868 – 29.01.1934) Германия	«За синтез аммиака из составляющих его элементов».
1919	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1920	Вальтер Герман Нернст (25.06.1864 – 18.11.1941) Германия	«В признание его работ по термодинамике».
1921	Фредерик Содди (02.09.1877 – 22.09.1956) Великобритания	«За вклад в химию радиоактивных веществ и за исследование происхождения и природы изотопов».
1922	Фрэнсис Уильям Астон (01.09.1877 – 20.11.1945) Великобритания	«За сделанное им с помощью им же изобретенного масс-спектрографа открытие изотопов большого числа нерадиоактивных элементов и за формулирование правила целых чисел».
1923	Фриц Прегль (03.09.1869 – 13.12.1930) Великобритания	«За изобретение метода микроанализа органических веществ».
1924	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1925	Рихард Адольф Зигмонди (01.04.1865 – 23.09.1929) Австрия	«За установление гетерогенной природы коллоидных растворов и за разработанные в этой связи методы, имеющие значение в современной коллоидной химии, так как все проявления органической жизни в конечном счете связаны с коллоидной средой протоплазмы».
1926	Теодор Сведберг (30.08.1884 – 26.02.1971) Швеция	«За работы в области дисперсных систем».
1927	Генрих Отто Виланд (04.06.1877 – 05.08.1957) Германия	«За исследования желчных кислот и строения многих сходных веществ».
1928	Адольф Отто Рейнгольд Виндаус (25.12.1876 – 09.06.1959) Германия	«За работы по изучению строения стероидов и их связи с витаминной группой».
1929	Артур Гарден (12.10.1865 – 17.06.1940) Великобритания; Ханс фон Эйлер-Хельпин (15.02.1873 – 06.07.1964)	«За исследование ферментации сахара и ферментов брожения».

	Швеция	
1930	Ханс Фишер (27.07.1881 – 31.03.1945) Германия	«За исследования по конструированию гемина и хлорофилла, особенно за синтез гемина».
1931	Карл Бош (27.08.1874 – 26.04.1940) Германия; Фридрих Бергмус (11.10.1884 – 31.03.1949) Германия	«За заслуги по введению и развитию методов высокого давления в химии, что представляет собой эпохальное событие в области химической технологии».
1932	Ирвинг Ленгмюр (31.01.1881 – 16.08.1957) США	«За открытия и исследования в области химии поверхностных явлений».
1933	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1934	Гарольд Клейтон Юри (29.04.1893 – 05.01.1981) США	«За открытие тяжелого водорода-дейтерия, используемого для получения тяжелой воды (замедлителя в ядерных реакторах), а также в качестве индикатора биохимических реакций в живой ткани».
1935	Фредерик Жолио-Кюри (19.03.1900 – 14.08.1958) Франция; Ирен Жолио-Кюри (12.09.1897 – 17.03.1956) Франция	«За выполненный синтез новых радиоактивных элементов».
1936	Питер Йозеф Вильгельм Дебай (24.03.1884 – 02.11.1966) Голландия, США	«За вклад в понимание молекулярной структуры в ходе исследований дипольных явлений и дифракции рентгеновских лучей и электронов в газах».
1937	Уолтер Норманн Хоуорс (19.03.1883 – 19.03.1950) Великобритания	«За исследования углеводов и витамина С».
1938	Рихард Кун (03.12.1900 – 31.07.1967) Германия	«В знак признания проделанной им работы по каротиноидам и витаминам».
1939	Адольф Фридрих Иоганн Бутенандт (24.03.1903 – 18.01.1995) Германия	«За работу по половым гормонам».
	Леопольд Ружичка (13.09.1887 – 26.09.1976) Швейцария	«За работы по полиметиленам и высшим терпенам».
1940	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции (2/3) и Нобелевский фонд (1/3).</i>
1941	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции (2/3) и Нобелевский фонд (1/3).</i>
1942	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции (2/3) и Нобелевский фонд (1/3).</i>
1943	Дьёрдь де Хевеши (01.08.1885 – 05.07.1966) Венгрия	«За работу по использованию изотопов в качестве меченых атомов при изучении химических процессов».
1944	Отто Ган (08.03.1879 – 28.07.1968) Германия	«За открытие расщепления тяжелых ядер».
1945	Арттури Илмари Виртанен (15.01.1895 – 11.11.1973) Финляндия	«За исследования и достижения в области сельского хозяйства и химии питательных веществ, особенно за метод консервации кормов».
1946	Джеймс Самнер (1/2 премии) (19.11.1887 – 12.08.1955) США; Джон Говард Нортроп (1/4 премии) (05.07.1891 – 27.05.1987)	«За получение в чистом виде вирусных белков».

	США; <i>Уэнделл Меридит Стэнли</i> (¹ / ₄ премии) (16.08.1904 – 15.06.1971) США	
1947	<i>Роберт Робинсон</i> (13.09.1886 – 24.02.1975) Великобритания	«За исследования растительных продуктов большой биологической важности, особенно алкалоидов».
1948	<i>Арне Тиселиус</i> (10.08.1902 – 29.10.1971) Швеция	«За исследование электрофореза и адсорбционного анализа, особенно за открытие, связанное с комплексной природой белков сыворотки».
1949	<i>Уильям Джинок</i> (12.05.1895 – 28.03.1982) США	«За вклад в химическую термодинамику, особенно в ту ее область, которая изучает поведение веществ при экстремально низких температурах».
1950	<i>Отто Поль Херманн Дильс</i> (23.01.1876 – 07.03.1954) Германия; <i>Курт Альдер</i> (10.07.1902 – 20.06.1958) Германия	«За открытие и развитие диенового синтеза».
1951	<i>Эдвин Маттисон Макмиллан</i> (18.09.1907 – 07.09.1991) США; <i>Гленн Теодор Сиборг</i> (19.04.1912 – 25.02.1999) США	«За открытия в области химии трансурановых элементов».
1952	<i>Арчер Джон Портер Мартин</i> (01.03.1910 – 28.07.2002) Великобритания; <i>Ричард Лоуренс Миллингтон Синг</i> (28.10.1914 – 18.08.1994) Великобритания	«За открытие метода распределительной хроматографии».
1953	<i>Герман Штаудингер</i> (23.03.1881 – 08.09.1965) Германия	«За исследования в области химии высокомолекулярных веществ».
1954	<i>Лайнус Карл Полинг</i> (28.02.1901 – 19.08.1994) США	«За исследование природы химической связи и ее применение для определения структуры соединений».
1955	<i>Винсент дю Виньо</i> (18.05.1901 – 11.12.1978) США	«За работу с биологически активными соединениями, и прежде всего за впервые осуществленный синтез полипептидного гормона».
1956	<i>Сирил Норманн Хиншелвуд</i> (19.06.1897 – 09.10.1967) Великобритания; <i>Николай Николаевич Семенов</i> (03(15).04.1896 – 25.09.1986) СССР	«За исследования в области механизма химических реакций».
1957	<i>Александр Тодд</i> (02.10.1907 – 10.01.1997) Великобритания	«За работы по нуклеотидам и нуклеотидным коэнзимам».
1958	<i>Фредерик Сенгер</i> (13.08.1918 – 19.11.2013) Великобритания	«За установление структур белков, особенно инсулина».
1959	<i>Ярослав Гейровский</i> (20.12.1890 – 27.03.1967) Чехия	«За открытие и развитие полярографических методов анализа».
1960	<i>Уиллард Франк Либби</i> (17.12.1908 – 08.09.1980) США	«За введение метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки».

1961	<i>Мелвин Калвин (США)</i> (07.04.1911 – 08.01.1997)	«За исследование усвоения двуокси углерода растениями».
1962	<i>Макс Фердинанд Перуц</i> (19.05.1914 – 06.02.2002) Великобритания; <i>Джон Кодери Кендрю</i> (24.03.1917 – 23.08.1997) Великобритания	«За исследования структуры глобулярных белков».
1963	<i>Карл Циглер</i> (26.11.1898 – 11.08.1973) Германия; <i>Джулио Натта</i> (26.02.1903 – 02.05.1979) Италия	«За открытие изотактического полипропилена».
1964	<i>Дороти Кроуфут Ходжкин</i> (12.05.1910 – 29.07.1994) Великобритания	«За определение с помощью рентгеновских лучей структур биологически активных веществ».
1965	<i>Роберт Бёрнс Вудворд</i> (10.04.1917 – 08.07.1979) США	«За выдающийся вклад в искусство органического синтеза».
1966	<i>Роберт Сандерсон Малликен</i> (07.06.1896 – 31.10.1986) США	«За фундаментальную работу по химическим связям и электронной структуре молекул, проведенную с помощью метода молекулярных орбиталей».
1967	<i>Манфред Эйген</i> (¹ / ₂ премии) (род.09.05.1927) Германия <i>Роналд Джордж Рейфорд Норриш</i> (¹ / ₄ премии) (09.11.1897 – 07.06.1978) Великобритания; <i>Джордж Портер</i> (¹ / ₄ премии) (06.10.1920 – 31.08.2002) Великобритания	«За исследования экстремально быстрых химических реакций, стимулируемых нарушением равновесия с помощью очень коротких импульсов энергии». «За проведенное ими исследование сверхбыстрых химических реакций с помощью смещения молекулярного равновесия очень коротким импульсом».
1968	<i>Ларс Онсагер</i> (27.11.1903 – 05.10.1976) США – Норвегия	«За открытие соотношений взаимности в необратимых процессах, названных его именем, которые имеют принципиально важное значения для термодинамики необратимых процессов».
1969	<i>Дерек Харолд Ричард Бартон</i> (08.08.1918 – 16.03.1998) Великобритания; <i>Одд Хассель</i> (17.05.1897 – 11.05.1981) Норвегия	«За вклад в развитие конформационной концепции и ее применение в химии».
1970	<i>Луис Федерико Лелуар</i> (06.09.1906 – 02.12.1987) Аргентина	«За открытие первого сахарного нуклеотида и исследование его функций в превращении сахара и в биосинтезе сложных углеводов».
1971	<i>Герхард Херцберг</i> (25.12.1904 – 03.03.1999) Канада	«За его вклад в понимание электронной структуры и строения молекул, особенно взаимосвязи свободных радикалов».
1972	<i>Кристиан Бемер Анфинсен</i> (¹ / ₂ премии) (26.03.1916 – 14.05.1995) США <i>Станфорд Мур</i> (¹ / ₄ премии) (04.09.1913 – 23.08.1982) США; <i>Уильям Хоуард Стайн</i> (¹ / ₄ премии)	«За работу по исследованию рибонуклеазы, особенно взаимосвязи между аминокислотной последовательностью и ее биологически активными конферментами». «За вклад в прояснение связи между химической структурой и каталитическим действием активного центра молекулы рибонуклеазы».

	(25.06.1911 – 02.02.1980) США	
1973	Эрнст Отто Фишер (10.11.1918 – 23.07.2007) Германия; Джеффри Уилкинсон (14.06.1921 – 26.09.1996) Великобритания	«За новаторскую, проделанную независимо друг от друга, работу в области химии металлоорганических, так называемых сандвичевых, соединений».
1974	Пол Джон Флори (19.06.1910 – 09.09.1985) США	«За фундаментальные достижения в области теории и практики физической химии макромолекул».
1975	Джон Уоркан Корнфорт (07.09.1917 – 14.12.2013) Австралия	«За исследование стереохимии реакций ферментативного катализа».
	Владимир Прелог (23.07.1906 – 07.01.1998) Швейцария	«За исследования в области стереохимии органических молекул и реакций».
1976	Уильям Нани Липскомб (09.12.1919 – 14.04.2011) США	«За исследование структуры боранов (боргидридов), проявляющих проблемы химических связей».
1977	Илья Пригожин (25.01.1917 – 28.05.2003) Бельгия	«За работы по термодинамике необратимых процессов, особенно за теорию диссипативных структур».
1978	Питер Деннис Митчелл (29.09.1920 – 10.04.1992) Великобритания	«За вклад в понимание процесса переноса биологической энергии, сделанный благодаря созданию хемиосмотической теории».
1979	Герберт Чарлз Браун (22.05.1912 – 19.12.2004) США; Георг Виттинг (16.06.1897 – 26.08.1987) Германия	«За разработку новых методов органического синтеза сложных бор- и фосфорсодержащих соединений».
1980	Пол Берг (¹ / ₂ премии) (род. 30.06.1926) США	«За фундаментальные исследования биохимических свойств нуклеиновых кислот, в особенности рекомбинантных ДНК»
	Уолтер Гилберт (¹ / ₄ премии) (род. 21.03.1932) США; Фредерик Сенгер (¹ / ₄ премии) (13.08.1918 – 19.11.2013) Великобритания	«За фундаментальные исследования биохимических свойств нуклеиновых кислот, в особенности рекомбинантных ДНК».
1981	Кэнъити Фукуи (04.10. 1918 – 09.01.1998) Япония; Рональд Хофман (род. 18.07.1937) США	«За разработку теории протекания химических реакций».
1982	Аарон Клуз (род. 11.08.1926) Великобритания	«За разработку метода кристаллографической электронной микроскопии и прояснение структуры биологически важных комплексов нуклеиновая кислота – белок».
1983	Генри Таубе (30.11.1915 – 16.11.2005) США	«За изучение механизмов реакций с переносом электрона, особенно комплексов металлов».
1984	Роберт Брюс Меррифилд (15.07.1921 – 14.05.2006) США	«За предложенную методологию химического синтеза на твердых матрицах».
1985	Херберт Аарон Хауптман (14.02.1917 – 23.10.1911) США; Джером Карле	«За выдающиеся достижения в разработке прямого метода расшифровки структур».

	(18.06.1918 – 06.06.2013) США	
1986	Дадли Роберт Хершбах (род. 18.06.1932) США; Ли Юаньчжэ (род. 19.11.1936) Тайвань, США; Джон Чарлз Полани (род. 23.01.1929) Канада	«За вклад в развитие исследований динамики элементарных химических процессов».
1987	Доналд Джеймс Крам (22.04.1919 – 17.06.2001) США; Жан Мари Лен (род. 30.09.1939) Франция; Чарлз Педерсен (03.10.1904 – 26.10.1989) США	«За разработку и применение молекул со структурно-специфическими взаимодействиями высокой избирательности».
1988	Иоганн Дайзенхофер (род. 30.09.1943) Германия; Хартмут Михель (род. 18.07. 1948) Германия; Роберт Хубер (род. 20.02.1937) Германия	«За установление трехмерной структуры фотосинтетического реакционного центра».
1989	Сидней Олтмен (род. 07.05.1939) США; Томас Роберт Чек (род. 08.12.1947) США	«За открытие каталитических свойств рибонуклеиновых кислот».
1990	Элайс Джеймс Кори (род. 12.07.1928) США	«За развитие теории и методологии органического синтеза».
1991	Ричард Эрнст (род. 14.08.1933) Швейцария	«За вклад в развитие методологии ядерной магнитной резонансной спектроскопии высокого разрешения».
1992	Рудольф Маркус (род. 21.07.1923) США	«За вклад в теорию реакций переноса электрона в химических системах».
1993	Кэрри Муллис (род. 28.12.1944) США	«За изобретение метода полимеразной цепной реакции».
	Майкл Смит (26.04.1932 – 04.10.2000) Канада	«За фундаментальный вклад в установлении олигонуклеотидно-базированного, локально-ориентированного мутагенеза и его развитие для изучения белков».
1994	Джордж Олах (род. 22.05.1927) США	«За вклад в химию углерода».
1995	Пауль Крутцен (род. 03.12.1933) Германия; Марио Молина (род. 19.03.1943) США; Шервуд Роуланд (28.06.1927 – 10.03.2012) США	«За работу по атмосферной химии, особенно в части процессов образования и разрушения озонового слоя».
1996	Роберт Керл (род. 23.08.1933) США;	«За открытие фуллеренов».

	Харолд Крото (род. 07.10.1939) США; Ричард Смоли (06.06.1943 – 28.10.2005) США	
1997	Пол Бойер (¹ / ₄ премии) (род. 31.07.1918) США; Джон Уокер (¹ / ₄ премии) (род. 07.01.1941) США	«За выяснение энзимного механизма, лежащего в основе синтеза аденозин-фосфата».
	Йенс Скоу (¹ / ₂ премии) (род. 08.10.1918) Дания	«За открытие ион-передающего энзима».
1998	Вальтер Кон (род. 09.03.1923) США	«За развитие теории функционала плотности».
	Джон Попл (31.10.1925 – 15.03.2004) США	«За разработку вычислительных методов квантовой химии».
1999	Ахмед Зевейл (род. 26.02.1946) США	«За исследование переходных состояний, возникающих во время химических реакций, с использованием фемтосекундной техники».
2000	Алан Хигер (род. 22.01.1936) США; Алан Мак-Диармид (14.04.1927 – 07.02.2007) США; Хидеки Сиракава (род. 20.08.1936) Япония	«За открытие проводимости в полимерах».
2001	Уильям Ноулз (¹ / ₄ премии) (01.06.1917 – 13.06.2012) США; Риоджи Нойори (¹ / ₄ премии) (род. 03.09.1938) Япония; Барри Шарплесс (¹ / ₂ премии) (род. 28.04.1941) США	«За исследования, используемые в фармацевтической промышленности – создание хиральных катализаторов окислительно-восстановительных реакций».
2002	Джон Фенн (¹ / ₄ премии) (15.06.1917 – 10.12.2010) США; Койчи Танака (¹ / ₄ премии) (род. 03.08.1959) Япония Курт Вютрих (¹ / ₂ премии) (род. 04.10.1938) Швейцария	«За разработку методов индентификации и структурного анализа биологических макромолекул, и, в частности, за разработку методов масс-спектрометрического анализа биологических макромолекул».
2003	Питер Агре (род. 30.01.1949) США Родерик Маккинон (род. 19.02.1956) США	«За разработку применения ЯМР-спектроскопии для определения трехмерной структуры биологических макромолекул в растворе». «За открытие ионного канала».
2004	Аарон Чехановер (род. 01.10.1948) Израиль; Авраам Гершко (род. 31.12.1937) Израиль; Ирвин Роуз (16.07.1926 – 02.06.2015)	«За изучение структуры и механизма ионных каналов». «За открытие убиквитин-опосредованной деградации белка».

2005	США <i>Робертс Граббс</i> (род. 27.02.1942) США; <i>Ричард Шрок</i> (род. 04.01.1945) США; <i>Ив Шовен</i> (10.10.1930 – 28.02.2015) Франция	«За вклад в развитие метода метатезиса в органическом синтезе».
2006	<i>Роджер Корниберг</i> (род. 24.04.1947) США	«За исследование механизма копирования клетками генетической информации».
2007	<i>Герхард Эртли</i> (род. 10.10.1936) Германия	«За выдающиеся достижения в исследовании химических процессов на твердых поверхностях».
2008	<i>Осаму Симомура</i> (род. 27.08.1928) Япония, США; <i>Мартин Чалфи</i> (род. 15.01.1947) США; <i>Роджер Тсьен</i> (род. 01.02.1952) США	«За открытие и разработку методов использования зеленого флуоресцентного белка (GFP)».
2009	<i>Венкатраман Рамакришнан</i> (род. 1952) Великобритания; <i>Томас Стейц</i> (род. 23.08.1940) США; <i>Ада Йонат</i> (род. 22.06.1939) Израиль	«За исследования структуры и функций рибосомы».
2010	<i>Ричард Хек</i> (род. 15.08.1931) США; <i>Акира Судзуки</i> (род. 12.09.1930) Япония; <i>Эйити Негиси</i> (род. 14.07.1935) Япония	«За применение реакций кросс-сочетания, катализируемых палладиевыми соединениями, в тонком органическом синтезе».
2011	<i>Дан Шехтман</i> (род. 24.01.1941) Израиль	«За открытие квазикристаллов».
2012	<i>Роберт Лефковиц</i> (род. 15.04.1941) США; <i>Брайан Кобилка</i> (род. 30.05.1955) США	«За исследования рецепторов, сопряженных с G-белками».
2013	<i>Мартин Карплус</i> (род. 15.03.1930) США; <i>Майкл Левитт</i> (род. 09.05.1947) США, Израиль; <i>Арье Варшель</i> (род. 20.11.1940) США, Израиль	«За развитие многомасштабных моделей сложных химических систем».
2014	<i>Эрик Бетциг</i> (род. 13.01.1960)	«За создание флуоресцентной микроскопии высокого разрешения».

	США; Уильям Мернер (род. 24.06.195)	
	США; Штефан Хелль (род. 23.12.1962)	
	Германия	
2015	Томас Линдаль (род. 28.01.1938 г.) Великобритания; Пол Модрич (род. 13.06.1946) США; Азиз Санкар (род. 08.09.1946) США	За исследование жизненно важного биологического процесса – восстановление поврежденных ДНК и сохранение генетической информации на молекулярном уровне клетки

Лауреаты Нобелевской премии по физиологии и медицине

1901	Эмиль Адольф Беринг (15.03.1854 – 31.03.1917) Германия	«За работу по сывороточной терапии, главным образом за ее применение при лечении дифтерии, что открыло новые пути в медицинской науке и дало в руки врачей победоносное оружие против болезни и смерти».
1902	Рональд Росс (13.05.1857 – 16.09.1932) Индия	«За работу по малярии, в которой он показал, как возбудитель попадает в организм, и тем самым заложил основу для дальнейших успешных исследований в этой области и разработки методов борьбы с малярией».
1903	Нильс Рюберг Финзен (15.12.1860 – 24.09.1904) Дания	«В знак признания его заслуг в деле лечения болезней – особенно волчанки – с помощью концентрированного светового излучения, что открыло перед медицинской наукой новые широкие горизонты».
1904	Иван Петрович Павлов (26.09.1849 – 27.02.1936) Россия	«За работу по физиологии пищеварения».
1905	Роберт Кох (11.12.1843 – 27.05.1910) Германия	«За исследования и открытия, касающиеся лечения туберкулеза».
1906	Камилло Гольджи (07.07.1843 – 21.01.1926) Италия; Сантьяго Рамон-и-Кахаль (01.05.1852 – 17.10.1934) Испания	«В знак признания трудов о строении нервной системы».
1907	Шарль Луи Альфонс Лаверан (18.06.1845 – 18.05.1922) Франция	«За исследование роли простейших в заболеваниях».
1908	Илья Ильич Мечников (03.05.1845 – 02.07.1916) Россия; Пауль Эрлих (14.03.1854 – 20.08.1915) Германия	«За труды по иммунитету».
1909	Эмиль Теодор Кохер (25.08.1841 – 27.07.1917) Швейцария	«За работы в области физиологии, патологии и хирургии щитовидной железы».
1910	Альбрехт Коссель (16.09.1853 – 05.07.1927) Германия	«За вклад в изучение химии клетки, внесенный исследованиями белков, включая нуклеиновые вещества».
1911	Альвар Гульстранд (05.06.1862 – 28.07.1930) Швеция	«За работу по диоптрике глаза».
1912	Алексис Каррель	«За признание работы по сосудистому шву и транс-

	(28.06.1873 – 05.11.1944) Франция	плантации кровеносных сосудов и органов».
1913	Шарль Рише (25.08.1850 – 04.12.1935) Франция	«В знак признания его работ по анафилаксии».
1914	Роберт Барани (22.04.1876 – 08.04.1936) Австрия	«За работы по физиологии и патологии вестибулярного аппарата».
1915	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1916	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1917	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1918	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1919	Жюль Борде (13.-06.1870 – 06.04.1961) Бельгия	«За открытия, связанные с иммунитетом».
1920	Август Крог (15.11.1874 – 13.09.1949) Дания	«За открытие механизма регуляции просвета капилляров».
1921	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1922	Арчибалд Хилл (26.09.1886 – 03.06.1977) Великобритания	«За открытия в области теплообразования в мышце».
	Отто Меергоф (12.04.1884 – 06.10.1951) Германия	«За открытие тесной взаимосвязи между процессом поглощения кислорода и метаболизмом молочной кислоты в мышце».
1923	Фредерик Бантинг (14.11.1891 – 21.02.1941) Канада; Джон Маклеод (06.09.1876 – 16.03.1935) Шотландия	«За открытие инсулина».
1924	Виллем Эйнтховен (21.05.1860 – 28.09.1927) Нидерланды	«За открытие механизма электрокардиограммы».
1925	Премия не присуждалась	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции.</i>
1926	Йоханнес Фибигер (23.04.1867 – 30.01.1928) Дания	«За открытие карциномы, вызываемой Spirotera».
1927	Юлиус Вагнер-Яурегг (07.03.1857 – 27.09.1940) Австрия	«За открытие терапевтического эффекта заражения малярией при лечении прогрессивного паралича».
1928	Шарль Николь (21.09.1886 – 28.02.1936) Франция	«Установление передатчика сыпного тифа – платяной вши».
1929	Христиан Эйкман (11.08.1858 – 05.11.1930) Нидерланды	«За вклад в открытие витаминов».
	Фредерик Гоулленд Хопкинс (20.06.1861 – 16.05.1947) Великобритания	«За открытие витаминов, стимулирующих процессы роста».
1930	Карл Ландштейнер (14.06.1868 – 26.06.1943) Австрия	«За открытие групп крови человека».
1931	Отто Генрих Варбург (08.10.1883 – 01.08.1970) Германия	«За открытие природы и механизма действия дыхательного фермента».
1932	Чарлз Скотт Шерринг-	«За открытия, касающиеся функций нейронов».

	<i>тон</i> (27.11.1857 – 04.03.1952) Великобритания; <i>Эдгар Дуглас Эдриан</i> (30.11.1889 – 04.08.1977) Великобритания	
1933	<i>Томас Хант Морган</i> (25.09.1866 – 04.12.1945) США	«За открытия, связанные с ролью хромосом в наследственности».
1934	<i>Джордж Уипл</i> (28.08.1878 – 01.02.1976) США; <i>Джордж Майнот</i> (02.12.1885 – 25.02.1950) США; <i>Уильям Мёрфи</i> (06.02.1892 – 09.10.1987) США	«За открытия, связанные с применением печени в лечении пернициозной анемии».
1935	<i>Ханс Шпеман</i> (27.06.1869 – 09.09.1941) Германия	«За открытие организующих эффектов в эмбриональном развитии».
1936	<i>Генри Дейл</i> (09.06.1875 – 23.07.1968) Великобритания; <i>Отто Лёви</i> (03.06.1873 – 25.12.1961) Австрия, Германия, США	«За открытия, связанные с химической передачей нервных импульсов».
1937	<i>Альберт Сент-Дьёрди</i> (16.09.1893 – 22.10.1986) США	«За открытия в области процессов биологического окисления, связанные в особенности с изучением витамина С и катализа фумаровой кислоты».
1938	<i>Корней Хейманс</i> (28.03.1892 – 18.07.1968) Бельгия	«За открытие роли синусного и аортального механизмов в регуляции дыхания».
1939	<i>Герхард Домагк</i> (30.10.1895 – 24.04.1964) Германия	«За открытие антибактериального эффекта проницателя».
1940	<i>Премия не присуждалась</i>	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1941	<i>Премия не присуждалась</i>	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1942	<i>Премия не присуждалась</i>	Денежные средства включены в спецфонд секции ($^{2/3}$) и Нобелевский фонд ($^{1/3}$).
1943	<i>Хенрик карл Петер Дам</i> (21.02.1895 – 17.04.1976) Дания	«За открытие витамина К».
	<i>Эдуард Адальберт Дойзи</i> (03.11.1893 – 23.10.1986) США	«За открытие химической структуры витамина К».
1944	<i>Джозеф Эрлангер</i> (05.01.1874 – 05.12.1965) США; <i>Герберт Спенсер Гассер</i> (05.07.1888 – 11.05.1963) США	«За открытия, имеющие отношение к высокодифференцированным функциям отдельных нервных волокон».
1945	<i>Александр Флеминг</i> (06.08.1881 – 11.03.1955) Великобритания; <i>Эрнст Борис Чейн</i> (19.06.1906 – 12.08.1979) Великобритания; <i>Хоуард Уолтер Флори</i> (24.09.1898 – 21.02.1968) Великобритания	«За открытие пенициллина и его целебного воздействия при различных инфекционных болезнях».
1946	<i>Герман Джозеф Мёллер</i>	«За открытие появления мутаций под влиянием

	(21.12.1890 – 05.04.1967) США	рентгеновского облучения».
1947	Карл Фердинанд Кори (¹ / ₄ премии) (05.12.1896 – 20.10.1984) США; Герти Тереза Кори (¹ / ₄ премии) (15.08.1896 – 26.10.1957) США	«За открытие каталитического превращения гликогена».
	Бернардо Альберто Усай (¹ / ₂ премии) (10.04.1887 – 21.09.1971) Аргентина	«За открытие роли гормонов передней доли гипофиза в метаболизме глюкозы».
1948	Пауль Герман Мюллер (12.01.1899 – 12.10.1965) Швейцария	«За открытие высокой эффективности ДДТ как контактного яда».
1949	Уолтер Гресс (17.03.1881 – 12.08.1973) Швейцария	«За открытие функциональной организации промежуточного мозга как координатора активности внутренних органов».
	Эгаиш Мониш (29.11.1874 – 13.12.1955) Португалия	«За открытие терапевтического воздействия лейкотомии при некоторых психических заболеваниях».
1950	Эдуард Кендалл (08.03.1886 – 04.05.1972) США; Тадеуш Рейхштейн (20.07.1897 – 01.08.1996) Швейцария; Филип Хенч (28.02.1896 – 30.03.1965) США	«За открытия, касающиеся гормонов коры надпочечников, их структуры и биологических эффектов».
1951	Макс Тейлер (30.01.1899 – 11.08.1972) США	«За открытия, связанные с желтой лихорадкой, и борьбу с ней».
1952	Зельман Ваксман (02.07.1888 – 16.08.1973) США	«За открытие стрептомицина, первого антибиотика, эффективного при лечении туберкулеза».
1953	Ханс Адольф Кребс (25.08.1900 – 22.11.1981) Германия, Великобритания	«За открытие цикла лимонной кислоты».
	Фриц Альберт Липман (12.06.1899 – 24.07.1986) Германия, США	«За открытие кофермента А и его значения для промежуточных стадий метаболизма».
1954	Джон Эндерс (10.02.1897 – 08.09.1985) США; Томас Уэллер (15.06.1915 – 23.08.1908) США; Фредерик Роббинс (25.08.1916 – 04.08.2003) США	«За открытие способности вируса полиомиелита расти в культурах различных тканей».
1955	Хуго Теорелль (06.07.1903 – 15.08.1982) Швеция	«За открытия, касающиеся природы и механизма действия окислительных ферментов».
1956	Андре Курнан (24.09.1895 – 19.02.1988) США; Вернер Форсман (29.08.1904 – 01.06.1979) Германия; Дикинсон Ричардс (30.10.1895 – 23.02.1973)	«За открытия, касающиеся катетеризации сердца и патологических изменений в системе кровообращения».

	США	
1957	<i>Даниеле Бове</i> (23.03.1907 – 08.04.1992) Италия	«За открытия, касающиеся синтетических соединений, блокирующих действие некоторых веществ организма, и за обнаружение их действия на сосудистую систему и мышцы».
1958	<i>Джордж Бидл</i> (¹ / ₄ премии) (22.10.1903 – 09.06.1989) США; <i>Эдуард Тейтем</i> (¹ / ₄ премии) (14.12.1909 – 05.11.1975) США	«За открытия, касающиеся роли генов в специфических биохимических процессах».
	<i>Джошуа Ледерберг</i> (¹ / ₂ премии) (23.05.1925 – 02.02.2008) США	«За открытия, касающиеся генетической рекомбинации и организации генетического материала у бактерий».
1959	<i>Северо Очоа</i> (24.09.1905 – 01.11.1993) США; <i>Артур Корнберг</i> (03.03.1918 – 26.10.2007) США	«За открытие механизмов биологического синтеза рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот».
1960	<i>Макфарлейн Бёрнет</i> (03.09.1899 – 31.08.1985) Австралия; <i>Питер Брайан Медавар</i> (28.02.1915 – 02.10.1987) Великобритания	«За открытие искусственной иммунной толерантности (переносимости)».
1961	<i>Георг Бекетиш</i> (03.06.1899 – 13.06.1972) США	«За открытие физических механизмов восприятия раздражения улиткой».
1962	<i>Фрэнсис Крик</i> (08.06.1916 – 28.07.2004) Великобритания; <i>Джеймс Уотсон</i> (род. 06.04.1928) США; <i>Морис Уилкинс</i> (15.12.1916 – 05.10.2004) США	«За открытия, касающиеся молекулярной структуры нуклеиновых кислот и их значения для передачи информации в живых системах».
1963	<i>Джон Эклс</i> (27.01.1903 – 02.05.1997) Австралия; <i>Алан Ходжкин</i> (05.02.1914 – 20.12.1998) Великобритания; <i>Эндрю Филдинг Хаксли</i> (22.11.1917 – 30.05.2012) Великобритания	«За открытия, касающиеся ионных механизмов возбуждения и торможения в периферических и центральных участках нервных клеток».
1964	<i>Конрад Блох</i> (21.01.1912 – 15.10.2000) Германия, США; <i>Феодор Ленен</i> (06.04.1911 – 06.08.1979) Германия	«За открытия, касающиеся механизмов и регуляции обмена холестерина и жирных кислот».
1965	<i>Франсуа Жакоб</i> (17.06.1920 – 19.04.2013) Франция; <i>Андре Львов</i> (08.05.1902 – 30.09.1994) Франция; <i>Жак Моно</i> (09.02.1910 – 31.05.1976) Франция	«За открытия, касающиеся генетического контроля синтеза ферментов и вирусов».
1966	<i>Фрэнсис Пейтон Роус</i>	«За открытие онкогенных вирусов».

	(05.10.1879 – 16.02.1970) США	
	Чарлз Брентон Хаггинс (22.09.1901 – 12.01.1997) США	«За открытия, касающиеся гормонального лечения рака предстательной железы».
1967	Рagnar Гранит (30.10.1900 – 12.03.1991) Швеция; Холден Хартлайн (22.12.1903 – 17.03.1983) США; Джордж Уолд (18.11.1906 – 12.04.1997) США	«За открытия, связанные с первичными физиологическими и химическими зрительными процессами, происходящими в глазу».
1968	Роберт Холи (28.01.1922 – 11.02.1993) США; Хаар Гобинд Корана (09.01.1922 – 09.11.2011) США; Маршалл Ниренберг (10.04.1927 – 15.01.2010) США	«За расшифровку генетического кода и его роли в синтезе белков».
1969	Макс Дельбрюк (04.09.1906 – 09.03.1981) США; Альфред Херши (04.12.1908 – 22.05.1997) США; Сальвадор Лурия (13.08.1912 – 06.02.1991) США	«За открытия, касающиеся механизма репликации и генетической структуры вирусов».
1970	Бернард Кац (26.03.1911 – 20.04.2003) Великобритания; Ульф фон Ойлер (07.02.1905 – 09.03.1983) Швеция; Джулиус Аксельрод (30.05.1912 – 29.12.2004) США	«За открытия, касающиеся гуморальных передатчиков в нервных окончаниях и механизмов их хранения, выделения и инактивации».
1971	Эрл Сазерленд (19.11.1915 – 09.03.1974) США	«За открытия, касающиеся механизмов действия гормонов».
1972	Джералд Эдельман (01.07.1929 – 17.05.2014) США; Родни Портер (08.10.1917 – 07.09.1985) Великобритания	«За открытия, касающиеся химической структуры антител».
1973	Карл фон Фриш (20.11.1886 – 12.06.1982) Австрия; Конрад Лоренц (07.11.1903 – 27.02.1989) Австрия; Николаас Тинберген (15.04.1907 – 21.12.1988) Нидерланды	«За открытия, связанные с созданием и установлением моделей индивидуального и группового поведения животных».
1974	Альбер Клод (23.08.1899 – 22.05.1983) Бельгия; Кристиан де Дюв (02.10.1917 – 14.05.2013) Бельгия; Джордж Палладе (19.11.1912 – 08.10.2008)	«За открытия, касающиеся структурной и функциональной организации клетки».

1975	США <i>Дейвид Балтимор</i> (род. 07.03.1932) США; <i>Ренато Дульбекко</i> (22.02.1914 – 20.02.2012) Италия; <i>Хоуард Темин</i> (10.12.1934 – 09.02.1994) США	«За открытия, касающиеся взаимодействия между онкогенными вирусами и генетическим материалом клетки».
1976	<i>Барух Бламберг</i> (28.07.1925 – 05.04.2011) США; <i>Карлтон Гайдушек</i> (09.09.1923 – 12.12.2008) США	«За открытия, касающиеся новых механизмов происхождения и распространения инфекционных заболеваний».
1977	<i>Роже Гиймен</i> (¹ / ₄ премии) (род. 11.01.1924) Франция; <i>Эндрю Шали</i> (¹ / ₄ премии) (род. 30.11.1926) Польша <i>Розалин Сасмен Ялоу</i> (¹ / ₂ премии) (19.07.1921 – 30.05.2011) США	«За открытия, связанные с секрецией пептидных гормонов мозга».
1978	<i>Вернер Арбер</i> (род. 03.06.1929) Швейцария; <i>Даниел Натанс</i> (30.10.1928 – 16.11.1999) США; <i>Хамилтон Смит</i> (род. 23.08.1931) США	«За обнаружение рестрикционных ферментов и их применение в молекулярной генетике».
1979	<i>Алан Кармак</i> (23.02.1924 – 07.05.1998) ЮАР, США; <i>Годфри Хаунсфилд</i> (28.08.1919 – 12.08.2004) Великобритания	«За разработку компьютерной томографии».
1980	<i>Барух Бенасерраф</i> (29.10.1920 – 11.08.2011) США; <i>Жан Досе</i> (19.10.1916 – 06.06.2009) США; <i>Джордж Снелл</i> (19.12.1903 – 06.06.1996) США	«За открытия, касающиеся генетически определенных структур на клеточной поверхности, регулирующих иммунные реакции».
1981	<i>Роджер Сперри</i> (¹ / ₂ премии) (20.08. 1913 – 17.04.1994) США <i>Дэвид Хьюбел</i> (¹ / ₄ премии) (27.02.1926 – 22.09.2013) США; <i>Торстен Визель</i> (¹ / ₄ премии) (род. 03.06.1924) Швеция	«За открытия, касающиеся функциональной специализации полушарий головного мозга».
1982	<i>Суне Бергстрём</i> (10.01.1916 – 15.08.2004) Швеция; <i>Бенгт Самуэльсон</i> (род. 21.05.1934) Швеция; <i>Джон Вейн</i> (29.03.1927 – 19.11.2004)	«За открытия, касающиеся простагландинов и близких к ним биологически активных веществ».

Великобритания		
1983	Барбара Мак-Клинтон (16.06.1902 – 02.09.1992) США	«За открытие транспозирующих генетических систем».
1984	Нильс Эрне (23.12.1911 – 07.10.1994) Дания; Георг Кёлер (17.04.1946 – 01.03.1995) Германия; Сезар Мильштейн (08.10.1927 – 24.03.2002) Аргентина	«За открытие и разработку принципов выработки моноклональных антител с помощью гибридом».
1985	Майкл Браун (род. 13.04.1941) США; Джозеф Голдштейн (род. 18.04.1940) США	«За выдающиеся открытия, касающиеся обмена холестерина и лечения нарушений уровня холестерина в крови».
1986	Стэнли Коэн (род. 17.11.1922) США	«В знак признания открытий, имеющих важнейшее значение для раскрытия механизмов регуляции роста клеток и органов».
1987	Судзуми Тонегава (род. 06.09.1939) Япония	«За открытие генетического принципа для генерации разновидности антител».
1988	Джеймс Блэк (14.07.1924 – 22.03.2010) Шотландия; Гертруда Элайон (23.01.1918 – 21.02.1999) США; Джордж Хитчингс (18.04.1905 – 27.02.1998) США	«За открытие важных принципов лекарственной терапии».
1989	Джон Майкл Бишоп (род. 22.02.1936) США; Харолд Вармус (род. 18.12.1939) США	«За открытие клеточной природы ретровирусных онкогенов».
1990	Джозеф Мюррей (01.04.1919 – 26.11.2012) США; Эдуард Донналл Томас (15.03.1920 – 20.10.2012) США	«За открытия, касающиеся трансплантации органов и клеток при лечении болезней».
1991	Эрвин Неер (род. 20.03.1944) Германия; Берт Закман (род. 12.06.1942) Германия	«За открытия, касающиеся функций одиночных ионных каналов в клетках».
1992	Эдмонд Фишер (род. 06.04.1920) Швейцария, США; Эдвин Кребс (06.06.1918 – 21.10.2009) США	«За открытия, касающиеся обратимого белкового фосфорилирования как механизма биологической регуляции».
1993	Ричард Робертс (род. 06.09.1943) Великобритания; Филлип Шарп (род. 06.06.1944) США	«За открытие, независимо друг от друга, прерывистой структуры гена».
1994	Альфред Гилман (род. 01.07.1941) США; Мартин Родбелл	«За открытие G-белков и роли этих белков в в сигнальной трансдукции в клетке».

	(01.12.1925 – 07.12.1998) США	
1995	Эдвард Льюис (20.05.1918 – 21.07.2004) США; Кристиана Нюсляйн-Фольхард (род. 20.10.1942) Германия; Эрик Вишаус (род. 08.06.1947) США	«За открытия, касающиеся генетического контроля на ранних стадиях эмбрионального развития».
1996	Питер Доэрти (род. 15.10.1940) Австралия; Рольф Цинкернагель (род. 06.01.1944) Швейцария	«За открытия в области иммунной системы человека, в частности ее способности выявлять клетки, пораженные вирусом».
1997	Стенли Прузинер (род. 28.05.1942) США	«За открытие прионов, нового биологического принципа инфекции».
1998	Роберт Ферчготт (04.06.1916 – 19.05.2009) США; Луис Игнаро (род. 31.05.1941) США; Ферид Мурад (род. 14.09.1936) США	«За открытие роли оксида азота как сигнальной молекулы в регуляции сердечнососудистой системы».
1999	Гюнтер Блобель (род. 21.05.1936) Германия	«За обнаружение в белковых молекулах сигнальных аминокислотных последовательностей, ответственных за адресный транспорт белков в клетке».
2000	Арвид Карлссон (род. 25.01.1923) Швеция	«За открытие того факта, что дофамин играет роль нейромедиатора и необходим для контроля двигательных функций у человека».
	Пол Грингард (род. 11.12.1925) США	«За открытие механизма действия дофамина и других нейромедиаторов».
	Эрик Кандел (род. 07.11.1929) США	«За открытие молекулярных механизмов работы синапсов».
2001	Леланд Хартвелл (род. 30.10.1939) США; Тимоти Хант (род. 19.02.1943) Великобритания; Пол Нерс (род. 25.01.1949) Великобритания	«Открытие ключевых регуляторов клеточного цикла».
2002	Сидней Бреннер (род. 13.01.1927) ЮАР Роберт Хорвиц (род. 08.05.1947) США; Джон Салстон (род. 27.03.1942) Великобритания	«За открытия в области генетического регулирования развития человеческих органов».
2003	Пол Лотербур (06.05.1929 – 27.03.2007) США; Питер Мэнсфилд (род. 09.10.1933) Великобритания	«За изобретение метода магнитно-резонансной томографии».
2004	Ричард Эксел (род. 02.07.1946) США; Линда Бак (род. 29.01.1947) США	«За исследования обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния»

2005	Барри Маршалл (род. 30.09.1951) Австралия; Робин Уоррен (род. 11.06.1937) Австралия	«За работы по изучению влияния бактерии <i>Helicobacter pylori</i> на возникновение гастрита и язвы желудка и двенадцатиперстной кишки».
2006	Эндрю Файер (род. 27.04.1959) США; Крейг Мело (род. 18.10.1960) США	«За открытие РНК-интерференции – эффекта гашения активности определенных генов».
2007	Марио Капеччи (род. 06.10.1937) США, Италия; Мартин Эванс (род. 01.01.1941) Великобритания; Оливер Смитис (род. 23.07.1925) Великобритания, США	«За их открытие принципов введения специфических генных модификаций у мышей с использованием эмбриональных стволовых клеток».
2008	Харальд цур Хаузен (род. 11.03.1936) Германия; Франсуаза Баре-Синусси (род. 30.07.1947) Франция; Люк Монтатье (род. 18.08.1932) Франция	«За открытие вируса папилломы человека, вызывающего рак шейки матки» и «За открытие ВИЧ».
2009	Элизабет Блэкбёрн (род. 26.11.1948) США, Австралия; Джек Шостак (род. 09.11.1952) США; Кэрол Грейдер (род. 15.04.1961) США	«За открытие механизмов защиты хромосом теломерами и фермента теломеразы».
2010	Роберт Эдвардс (род. 10.04.1925) Великобритания	«За разработку методов экспериментального оплодотворения».
2011	Жюль Хоффман (^{1/4} премии) (род. 02.08.1941) Франция; Брюс Бетлер (^{1/4} премии) (род. 29.12.1957) США Ральф Стайнман (^{1/2} премии) (род. 14.01.1943) США	«За работы по изучению активации врожденного иммунитета».
2012	Джон Гердон (род. 02.10.1933) Великобритания; Синъя Яманака (род. 04.09.1962) Япония	«За работы в области биологии развития и получения индуцированных стволовых клеток».
2013	Джеймс Ротман (род. 03.01.1950) США; Рэнди Шекман (род. 30.12.1948) США; Томас Зюдхоф (род. 22.12.1955) Германия	«За открытие механизмов регуляции везикулярного транспорта – основной транспортной системы наших клеток».
2014	Джон О'Киф (род. 18.11.1939) США; Мей Бритт Мозер (род. 04.01.1963) Швейцария; Эдвард Мозер (род. 27.04.1962) Швейцария	«За открытие клеток, составляющих систему позиционирования в головном мозге».