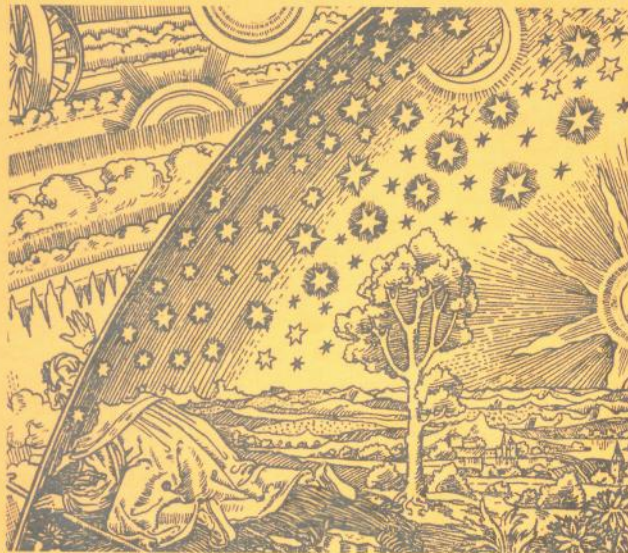




В.П. БОНДАРЕВ

КОНЦЕПЦИИ
СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ





В.П. Бондарев

Концепции современного естествознания

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия по дисциплине
«Концепции современного естествознания»
для студентов вузов гуманитарных специальностей и направлений
подготовки

Москва · 2003

УДК 50(075.8)
ББК20
Б81

*Настоящая книга - победитель конкурса
Минобразования России (2000-2001) на создание учебников
по дисциплине «Концепции современного естествознания»
для гуманитарных специальностей и направлений подготовки*

Бондарев В.П.

Б81 **Концепции современного естествознания: Учебное пособие для
студентов вузов. - М.: Альфа-М, 2003. -464 с.: ил.
ISBN 5-98281-002-9 (в пер.)**

Представляет собой обзор развития и современного состояния естественно-научной картины мира. Знакомит с историей, методологией естествознания и с такими его характерными чертами, как системность и модельность. Раскрывает проблемы пространства и времени как базисных понятий естествознания. Вводит читателя в курс концепций различных отраслей естествознания. Рассматривает общие вопросы, связанные с попытками создать теорию глобальной эволюции. Содержит именной указатель, контрольные вопросы и библиографические списки к каждой главе.

Для студентов гуманитарных специальностей вузов.

УДК 50(075.8)
ББК20

ISBN 5-98281-002-9

© «Альфа-М», 2003
© Бондарев В.П., 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

Глава 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ФЕНОМЕН КУЛЬТУРЫ

§ 1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры

Естествознание как элемент мировоззрения

Взаимодействие двух культур

Сциентизм и антисциентизм

§ 1.2. Классификация наук и отраслей естествознания

Подходы к классификации наук

Сложившееся разделение наук

§ 1.3. Естествознание и религия

Взаимоотношения религиозного и научного знаний

Естествознание с точки зрения теологов

§ 1.4. Естествознание и философия

Взаимоотношения философии и естествознания

Философские основания естествознания

§ 1.5. Естествознание и математика

Сущность математики и история ее развития

Математика как специфический язык естествознания

Приложение математики к разным отраслям естествознания

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 2. ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ НАУКИ

§ 2.1. Сущность научного знания

Наука и научное знание

Познание как процесс отражения действительности

Критерии отграничения научного знания

§ 2.2. Средства и методы науки

Виды средств и методов науки

Характеристика основных методов науки

§ 2.3. Структура и уровни научного знания

Структура научного знания

Уровни научного знания и их соотношение

Индуктивный и рационалистический пути познания.

Проблема построения единой теории

§ 2.4. Этические проблемы в науке

Наука как социальный институт

Идеалы и ценности науки

Ученый, научное сообщество, общество

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 3. ИСТОРИЯ НАУКИ И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

§ 3.1. История естествознания и модели развития науки

Подходы к изучению истории естествознания

Кумулятивная модель развития науки

Научные революции в истории науки

«Кейс стадис» как метод исследования

§ 3.2. Традиции и новации в истории естествознания

Традиции в истории естествознания

Незнание и неведение

Психологический контекст открытий

§ 3.3. Этапы становления современного естествознания

Этапы изменения характера науки

Научные революции Нового и Новейшего времени

Типы научной рациональности

§ 3.4. История отраслей естествознания

Физика

Химия

Геология

Биология

География

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 4. СИСТЕМНОСТЬ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

§4.1. Системный подход

Системность и уровни системности труда

Свойства и классификация систем

Эволюция системных представлений

§ 4.2. Модели и моделирование систем

Понятие модели и моделирования

Классификация моделей

Особенности моделей

Основные типы моделей систем

§ 4.3. Системные исследования

Информационные аспекты изучения систем

Этапы системного исследования

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 5. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

§ 5.1. Пространство и время в естествознании

Эволюция взглядов на пространство и время

Пространство и время в различных отраслях естествознания

§ 5.2. Свойства пространства и времени

Самостоятельность пространства и времени

Мерность пространства и времени

Симметрия и асимметрия пространства и времени

Обратимость пространства и времени

Геометрические свойства пространства

§ 5.3. Методы оценки пространства

Размеры микрообъектов

Размеры макрообъектов

Межзвездные пространства

Межгалактические пространства

§ 5.4. Методы оценки времени

Малые интервалы времени

Исчисление лет и исторических эпох

Геологические интервалы времени

Космические интервалы времени

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 6. ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

§ 6.1. Иерархичность миров и границы нашего познания

Проблема выделения фундаментальных физических теорий

Фундаментальные типы физического взаимодействия

Иерархичность физических явлений

§ 6.2. Концепции макромира и классическая механика

Сущность классической механики и ее исторический обзор

Основные положения классической механики

§ 6.3. Концепции мегамира и теория относительности

Сущность теории относительности

Преобразования Х.А. Лоренца

Принцип относительности А. Эйнштейна

§ 6.4. Концепции микромира и квантовая механика

Сущность квантовой механики и границы ее применимости

История становления квантовой теории

Современные представления об элементарных частицах и атомах

§ 6.5. Концепции возникновения и развития Вселенной

Модели развития Вселенной

Происхождение и эволюция звезд и галактик

Происхождение Солнечной системы

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 7. ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА

§7.1. Химические явления и их сущность

Сущность химических явлений

Основные концептуальные системы химии

§ 7.2. Химический состав вещества

Проблема химического элемента

Проблема химического соединения

Проблема вовлечения химических элементов

в производство новых материалов

§ 7.3. Химическая структура вещества

Проблемы, решаемые в рамках учения о химической структуре

Образование химических структур и химическая связь

§ 7.4. Химические процессы

Сущность химического процесса

Принципы управления химическим процессом

§ 7.5. Химическая эволюция

Этапы химической эволюции

Проблема самоорганизации химических систем

Вопросы для самоконтроля

Литература

Глава 8. КОСНОЕ ВЕЩЕСТВО ЗЕМЛИ

§8.1. Форма и строение Земли

Форма Земли

Внутреннее строение Земли

Основные характеристики Земли

§ 8.2. Вещественный состав и строение земной коры
Химический и минеральный состав Земли
Типы земной коры
§ 8.3. Гидросфера и атмосфера Земли
Водная оболочка Земли
Воздушная оболочка Земли
§ 8.4. Геодинамические процессы
Эндогенные (внутренние) процессы
Экзогенные (внешние) процессы
Взаимодействие экзогенных и эндогенных процессов
§ 8.5. Возникновение и геологическая история Земли
Возникновение Земли и ранние этапы ее становления
Принципы периодизации геологической истории Земли
Основные этапы эволюции земной коры
Вопросы для самоконтроля
Литература

Глава 9. ФЕНОМЕН ЖИЗНИ

§9.1. Сущность и уровни организации жизни
Сущность жизни и свойства живых организмов.
Уровни организации жизни
§ 9.2. Концепции возникновения жизни
Подходы к решению проблемы возникновения жизни
Условия и факторы зарождения жизни
Начальные этапы биологической эволюции
§ 9.3. Эволюционное учение в биологии
Становление эволюционного учения
Основные положения синтетической теории эволюции
§ 9.4. Развитие жизни на Земле
Криптозойский зон. Архейская и протерозойская эры
Фанерозойский зон. Палеозойская эра
Фанерозойский зон. Мезозойская и кайнозойская эры
§ 9.5. Человек: феномен, происхождение, биоэтика
Человек в системе животного мира
Этапы антропогенеза
Биоэтика
Вопросы для самоконтроля
Литература

Глава 10. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА

§ 10.1. Основные свойства географической оболочки
Географическая оболочка и ее особенности
Энергетические источники существования географической оболочки
Структура географической оболочки
§ 10.2. Функционирование географической оболочки
Круговорот веществ в географической оболочке
Круговороты отдельных химических элементов
Ритмические процессы в географической оболочке
§ 10.3. История развития географической оболочки
§ 10.4. Географическая среда и глобальные проблемы человечества
Географическая среда и ее взаимосвязь с обществом
Глобальные проблемы человечества

Вопросы для самоконтроля
Литература

Глава 11. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ

§ 11.1. Глобальный эволюционизм

Становление эволюционных идей в науке

Основные принципы глобального эволюционизма

§ 11.2. Самоорганизация как элементарный процесс эволюции

Самоорганизация и классическая термодинамика.

Примеры процессов, происходящих в открытых системах

Свойства самоорганизующихся систем

§ 11.3. Закономерности самоорганизации и эволюционного процесса

Закономерности и факторы эволюции

Особенности эволюционного процесса

Вопросы для самоконтроля

Литература

Именной указатель

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие посвящено изложению наиболее общих концепций современного естествознания и его отраслей (в первую очередь физики, химии, геологии, биологии и географии). Естественно-научное знание всегда оказывало и продолжает оказывать глубочайшее влияние на культуру как отдельной личности, так и человечества в целом. Поэтому формирующемуся специалисту-гуманитарию очень важно разобраться в основах и традициях современного естествознания, складывавшихся на протяжении всего становления человеческого общества, а следовательно, проверенных временем. Благодаря естествознанию были объяснены феномены природы, казавшиеся нашим предкам непостижимыми, исследованы многие удивительные и необычные явления. Это в свою очередь открыло еще большие исследовательские перспективы для многих последующих поколений. Человеку, живущему в современном обществе и стремящемуся стать гармоничной личностью, необходимо хотя бы прикоснуться к тому огромному пласту естественнонаучной культуры, который составляет сокровищницу мировой цивилизации.

Дисциплина «Концепции современного естествознания» была введена в учебные планы вузов в середине 1990-х гг. Несмотря на сравнительную молодость этого предмета, уже опубликован целый ряд учебной литературы по курсу «Концепции современного естествознания». Однако в 2000 г. были введены новые образовательные стандарты и разработаны примерные программы курса. Поэтому потребовалось новое учебное пособие, учитывающее уже сложившийся опыт изложения материала и в то же время соответствующее новым стандартам. Книга написана в соответствии с требованиями (федеральный компонент) к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки бакалавра и дипломированного специалиста по циклу «Общие математические и естественно-научные дисциплины» в государственных образовательных стандартах второго поколения, утвержденных Министерством образования Российской Федерации 21 февраля 2000 г. Были также учтены рекомендации двух примерных программ дисциплины «Концепции современного естествознания» (Буданов В.Г., Мелехова О.П., Степин В.С., 2000; Голубева О.Н., Добротина Н.А., Суханов А.Д., 2000).

В учебной литературе по предмету «Концепции современного естествознания» сложилось несколько традиций подачи материала. Условно назовем эти традиции философской, физико-химико-биологической и геолого-географической.

В основе философской традиции лежало то, что многие представления в отдельных

отраслях естествознания были объектом внимания философов. Философский подход распадается на два направления. Во-первых, изложение основ истории и методологии науки и выход на проблемы теории познания. Во-вторых, анализ философских вопросов естествознания.

Другая, получившая распространение в системе высшего образования традиция чтения курса «Концепции современного естествознания» может быть названа физико-химико-биологической. В случае использования этой идеологии преподавание соответствующей дисциплины направлено на изложение ярких фрагментов физики, химии и биологии, а также на демонстрацию важности стратегий мышления, выработанных в данных областях естествознания для культуры в целом.

Геолого-географическая традиция слабо выражена в системе высшего образования. Обычно о ней вспоминают, когда в конце курса необходимо подвести базу под связь природы и общества, а также рассмотреть проблемы, относящиеся к географической или окружающей природной среде. Но если мы обратимся к самому понятию «естествознание», то можем отметить, что у него есть синоним - «природоведение». Как известно, в системе среднего образования большая часть этой дисциплины посвящена рассмотрению именно геолого-географических идей, что отражено в соответствующих программах, учебниках и учебных пособиях.

В предлагаемом учебном пособии предпринимается попытка синтезировать все три перечисленные выше традиции. Это позволит студенту-гуманитарию в наиболее общем виде познакомиться с разными направлениями, развивающимися в рамках соответствующей дисциплины.

Данное пособие имеет целью познакомить студентов гуманитарных специальностей с естественно-научной картиной мира, которая составляет существенную часть человеческой культуры, и показать значение естественно-научной культуры в духовной и материальной жизни общества и каждого человека в отдельности. Автор исходил из представлений о том, что многие идеи, на которых строится современное естествознание, были сформулированы достаточно давно, однако их актуальность не вызывает сомнения, поэтому именно они должны стать базой курса. Но в то же время большое внимание уделяется проблемным вопросам естествознания, которые только входят в круг научных интересов ученых и ждут своего решения.

Особо следует сказать о списках литературы, приводимых после каждой главы. Поскольку естествознание имеет чрезвычайно широкое поле исследований, которые относятся ко многим дисциплинам, пришлось ограничиться ссылками только на те работы, которые были использованы непосредственно при написании данной книги, а также на ряд работ, которые считаются основополагающими при рассмотрении той или иной темы. Кроме того, в список литературы включено некоторое количество научно-популярных изданий и уже изданные учебные пособия, в которых освещается тот или иной раздел естествознания. Такой список литературы может оказаться полезным для дальнейшего самостоятельного изучения предмета студентами. Помимо этого можно порекомендовать журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Фундаментальное естественно-научное образование», где публикуются различные программы, концепции естественно-научных курсов и статьи, затрагивающие широкий спектр общих концепций естествознания. Полезны и выпуски сборника «Философия науки», издаваемого Институтом философии Российской академии наук. Большое количество статей обобщающего характера в популярном изложении по различным отраслям естествознания публикуется в журнале «Природа».

В написании учебного пособия существенную помощь автору оказало почти десятилетнее преподавание курса «Концепции современного естествознания» в различных вузах и работа в Музее землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автор считает приятным долгом поблагодарить своих учителей и коллег, принимавших участие в обсуждении проблем естествознания. Хотелось бы сказать отдельное спасибо д-

ру геогр. наук, проф. Ю.Г. Симонову: автору выпала огромная честь прослушать специальный курс лекций «История и методология геоморфологии». Под влиянием этих лекций, а также длительных бесед с Ю.Г. Симоновым сложились многие представления автора в области естествознания. Это особенно заметно проявилось в главах, посвященных проблемам пространства и времени, системности в естествознании, а также географической картине мира. Огромную благодарность автор испытывает к проф. К. Грегори (K. Gregory), д-ру биолог. наук, проф. Ф.Я. Дзержинскому, д-ру филос. наук, проф. В.С. Лямину, д-ру биолог. наук, проф. Е.Д. Никитину, д-ру физ.-мат. наук, проф. Ю.Г. Рудому, канд. геол.-минералог. наук О.П. Иванову, канд. геогр. наук В.И. Мысливцу, канд. филос. наук Л.Н. Самойлову, канд. геол.-минералог. наук А.А. Наймарку, Г.Ф. Солиенко и многим другим, кто вольно или невольно пробудили и поддерживают до сих пор интерес к удивительному миру истории и методологии естествознания. Обсуждение с ними отдельных проблем естествознания позволило выработать ту концепцию естественно-научной картины мира, которая рассматривается в данном учебном пособии. Работа не состоялась бы без поддержки моей жены Н.А. Бондаревой, историка по образованию, - первого гуманитария, который доказал, что книгу может понять человек, имеющий гуманитарное образование. Постоянную техническую поддержку моих трудов осуществлял И.А. Шемякин, которому также большое спасибо.

Глава 1

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ФЕНОМЕН КУЛЬТУРЫ

§ 1.1. Естественно-научная и гуманитарная культуры

Естествознание как элемент мировоззрения

Стремление человека к познанию окружающего мира бесконечно. Одним из средств этого познания является естествознание. Оно активно участвует в формировании мировоззрения каждого человека отдельно и общества в целом. К мировоззрению относится также социальная установка на понимание смысла жизни, жизненных идеалов, целей общества и средств их достижения. *Мировоззрение - совокупность определенных знаний, комплекс норм и убеждений, проявляющихся в содержании практической деятельности.* Определенный мировоззренческий и методологический подход к пониманию мира и объяснению эмпирических фактов выражает стиль мышления. Он включает в себя применяемые методы исследования, некоторую познавательную и социальную установку и может быть консервативным, ортодоксальным, критическим, революционным, конформистским, эклектичным и т.д.

Разные исследователи определяют понятие «естествознание» по-разному: одни ученые говорят, что естествознание - это система наук о природе, а другие - что это единая наука о природе. Это противоречие видимое. Структура естествознания иерархична. Будучи единой системой знания, оно состоит из определенного количества входящих в эту систему наук, которые в свою очередь состоят из еще более дробных отраслей знания. На каждой ступени организации естествознания существует свой более или менее развитый методологический аппарат, который и позволяет считать систему знаний таких ступеней единой. Не следует забывать, что природа едина. Следовательно, множество естественных наук является континуумом, т.е. непрерывной совокупностью. Отдельные естественно-научные дисциплины организованы по правилам, аналогичным естествознанию в целом. Поэтому и естествознание, и его отдельные отрасли являются некоторой системой взглядов на всю природу и на ее части.

Во всех определениях естествознания присутствуют два основных понятия - «природа» и «наука». В широком смысле слова природа - это все сущее в бесконечном многообразии своих проявлений (Вселенная, бытие, объективная реальность - слова-синонимы), а в

узком - природа обычно противопоставляется обществу. Под наукой обычно понимают сферу человеческой деятельности, в рамках которой вырабатываются и систематизируются объективные знания о действительности. (В дальнейшем эти два базовых понятия будут развернуты в более полном виде.)

Цель естествознания - раскрыть сущность явлений природы, познать их законы и предсказать на их основе новые явления, а также указать возможные пути использования на практике познанных законов природы. В нашей книге мы рассмотрим естествознание в контексте культуры, органической частью которой оно является. В самом понятии «культура» заложено разделение естественного хода развития природных процессов и явлений и искусственно созданной человеком «второй природы» — особой формы жизнедеятельности человека, качественно новой по отношению к предшествующим формам организации материи.

Взаимодействие двух культур

Как любое сложное базовое понятие, культура не имеет единого общепринятого определения. Проблеме разнообразия определений культуры была специально посвящена книга А. Кребера и К. Клакхона «Культура: критический обзор определений» (1952), где авторы привели около 150 определений культуры. Во второе издание этого труда вошло уже более 200 определений культуры. Сейчас их насчитывается более 500. При всем различии подавляющее большинство определений культуры едины в том, что это характеристика или способ жизнедеятельности человека, а не животных, т.е. культура - основное понятие для обозначения особой формы организации жизни людей.

Для того чтобы понять соотношение таких категорий, как природа, общество и культура, следует обратиться к вопросу о двух типах жизни, выработавшихся на Земле: инстинктивно-биологическом и культурно-целесообразном (социальном) [1]; сразу скажем, что именно наличие социального типа жизни отличает человека от животного.

При инстинктивном типе жизни преобладают наследственно приобретенные стереотипы поведения, обычно жестко связанные с внешними природными условиями. В действиях животных решающую роль играют инстинкты, выступающие как способ удовлетворения их потребностей, обеспечивающие выживание и воспроизводство популяции. Объектом изменений (необходимых при трансформации внешних условий) служит организм, тело животного. В то же время и в инстинктивном типе жизни есть место и обучению, и модификации врожденных стереотипов. Более того, обнаружено наличие чувств у животных (преданность, бескорыстная любовь к хозяину и т.д.). Можно сказать, что этот тип организации жизни не менее сложен, чем у человека. Заметим, что именно наличие внутри этого типа жизни ряда феноменов привело к развитию некоторых способов жизнедеятельности человека - особенностей группового поведения, организации коллективного взаимодействия в стае и др.

Человек в отличие от большинства видов животных универсален по своей природе, он может существовать в любом месте земного шара, осваивать разнообразные виды деятельности и т.д. Но он становится человеком только при наличии культурного окружения, в общении с другими, подобными себе существами. При отсутствии этого условия у него не реализуется даже его биологическая программа как живого существа и он преждевременно погибает. На протяжении культурной истории человек органически остается неизменным (в смысле отсутствия видообразования). Вызвано это тем, что все изменения переносятся на так называемое неорганическое тело культуры. Деятельность человека опосредованна. Между собой и природой он помещает предметы материальной культуры (орудия труда, одомашненные животные и растения, жилище, одежда, если она необходима). Духовные посредники - слова, образы, культурные навыки - существуют главным образом в межличностной сфере. Весь организм культуры состоит из сложно организованных посредников, культурных институтов. Деятельность человека не является лишь ответом на внешние раздражители. В ней присутствует опосредующий момент

размышления, сознательного действия сообразно цели, существующей в идеальной форме в виде плана, образа, намерения. Примечательно, что И.М. Сеченов рассматривал мышление как заторможенный, т.е. опосредованный периодом времени, рефлекс.

Из сказанного выше следует, что культура - важнейший регулятор взаимоотношений между обществом и природой. И с этой точки зрения наиболее общим и подходящим для нас может быть следующее определение: *культура - это система средств человеческой деятельности, благодаря которой программируется, реализуется и стимулируется активность индивида, различных групп, человечества в целом в их взаимодействии между собой и с природой.* Уже само определение отражает два основных типа взаимодействия, которые определяют два типа культур - гуманитарную (взаимодействие между собой) и естественно-научную (взаимодействие между обществом и природой). Естественно-научная культура отличается тем, что знания о природе имеют высокую степень объективности и достоверности. Гуманитарная культура специфична тем, что системообразующие ценности гуманитарного знания определяются и активизируются из социальной позиции человека. Имея свои специфические черты, эти два типа культур, безусловно, взаимодействуют, так как обладают единой культурной основой.

Взаимоотношения этих двух культур достаточно сложны [26]. А. Койре был одним из первых ученых, обративших в начале XX в. внимание на то, что после некоторого этапа развития общества возникли два мира - «мир науки» (мир количества, воплощенного в геометрии) и «мир качества» (в котором мы живем). В дальнейшем идея о сложных путях взаимодействия естественно-научной и гуманитарной культур в современном обществе была развита в серии статей писателя, общественного деятеля и ученого Ч. Сноу. В настоящее время большинством признается существование двух культур, обладающих разными языками, критериями и ценностями: естественно-научной культуры, включающей науки о природе, технику и т.п., и гуманитарной культуры, включающей искусство, литературу, науки об обществе и внутреннем мире человека.

Современная культура характеризуется быстрыми изменениями, а современное общество находится в состоянии дисгармонии с природой, глобального нарушения баланса — экологического кризиса. На это накладываются экономический, энергетический, информационный кризисы, а также обострение национальных, религиозных и социальных конфликтов во многих регионах Земли. Возможность успешного преодоления этих кризисов и конфликтов во многом определяется уровнем образованности и культуры общества. Обостряет эту ситуацию разделение путей развития естественно-научной и гуманитарной культур. Часто говорят, что духовность формируется исключительно за счет религиозного, нравственного, эстетического познания мира, что науку можно противопоставить духовности, что существует разделение между естествознанием и гуманитарными знаниями и они конфликтуют между собой.

Но вряд ли эти утверждения справедливы. Наша культура во многом была сформирована в эпоху Возрождения и имеет свои корни в культуре античности и европейского Средневековья. Естественные науки в развитии современной цивилизации не только обеспечивали и обеспечивают научно-технический прогресс, но и формируют особый тип мышления, особый тип критически-аналитической рациональности, весьма важный для мировоззренческой ориентации современного человека. Именно он побуждает человека к поиску решений, к признанию относительности систем отсчета и наших суждений, а недостаток этого типа мышления приводит к кризисным ситуациям в обществе. Мировоззренческие функции современного естествознания не сводятся только к тому, что оно дает знания о природе, поскольку само знание - это еще не мировоззрение. Оно становится таковым, когда в общественное сознание входит тот тип рациональности, который дают естественные науки. Можно сказать, что духовность во многом определяется научными знаниями и умением разбираться в окружающем мире. Более того, гуманитарная и естественно-научная культуры не могут не взаимодействовать. Например, любое более или менее крупное естественно-научное открытие всегда появляется на

определенном культурном фоне и становится феноменом культуры.

Разделение культуры на гуманитарную и естественно-научную во многом обусловлено существованием двух основных способов процесса мышления, которые имеют физиологическую природу. Как известно, мозг человека асимметричен: правое его полушарие отвечает за образный интуитивный тип мышления, а левое - за логический тип. Преобладание того или иного типа мышления часто определяет склонность человека либо к рациональному, либо к художественному типу восприятия мира. Разделение духовного и материального впервые встречается у Платона, а окончательно закрепились после работ Р. Декарта, который разделил внутренний мир человека (сферу религии и искусства) и внешний мир (сферу изучения рациональным научным методом).

Человек приобретает знание в процессе повседневного взаимодействия с различными предметами и явлениями окружающего мира. Рациональное знание относится к интеллекту, функции которого - различать, разделять, сравнивать, измерять и распределять по категориям. Оно хорошо приспособлено к формализации, компактной записи и возможности трансляции, благодаря чему возникает феномен накопления, роста рационального знания увеличивающимся темпом. Таким образом, рациональный тип мышления в значительной степени формирует стереотипы и идеологию общества.

Интуитивное восприятие мира, напротив, индивидуально. Интуитивное знание невозможно адекватно передать после того, как оно получено. Невозможно и объяснить, как оно было получено, а также точно воспроизвести процесс его получения. Интуитивный опыт должен быть пережит индивидуально. Обычно интуитивное знание направлено на внутренний мир человека и не имеет строгих объективных критериев истинности. Однако оно обладает огромной познавательной силой, так как оно ассоциативно и метафорично. Используя принцип аналогии, оно способно выходить за рамки логических конструкций и рождать новое в сфере искусства и науки. Если в русле логического мышления удастся получить детерминированные следствия, не выходящие за рамки первичных посылок, то для интуиции и фантазии пределов не существует.

О необходимости привлечения интуиции и творческого начала в науке свидетельствует еще одно обстоятельство. В 1931 г. К. Гёдель доказал ряд теорем о неполноте, из которых следует, что содержательные логические системы достаточно большой мощности не могут быть проверены на непротиворечивость без привлечения аргументов, не принадлежащих к данной системе. Именно поэтому невозможно полностью аксиоматизировать природу, а чисто рациональный путь постижения реальности ограничен.

Таким образом, на современном витке развития общества становится все более очевидным, что решение многих проблем человечества связано с большей гармонизацией двух частей единой культуры. С одной стороны, необходимо привнести в сферу науки нравственные, этические и даже эстетические категории. С другой стороны, гуманитарной культуре полезно воспринять естественно-научную традицию постоянного переосмысления накопленных ранее воззрений, вычленив законы гармонии, которые эффективнее работают при рационалистическом способе познания действительности.

Сциентизм и антисциентизм

Рассмотрим еще одну проблему интеграции науки, в частности естествознания, в общемировую культуру. Дело в том, что бурное развитие науки, укрепление ее взаимосвязей с техникой, с другими сферами общественной жизни и т.п. привели философов, социологов к различным оценкам науки и ее возможностей. Так, известный философ Г. Башляр был убежден в том, что возлагать на науку ответственность за жестокость современного человека - значит переносить тяжесть преступления с преступника на орудие преступления. Нельзя перекладывать на науку ответственность за искажение человеческих ценностей. К. Поппер считал очень опасным для человеческой цивилизации «восстание против разума» со стороны иррационалистических «оракулов» и разделял идею о том, что наука - это не только (и не столько) «собрание фактов», а одно из

«наиболее важных духовных движений» наших дней и тот, кто не пытается его понять, выталкивает себя из этого наиболее замечательного явления цивилизации.

Наряду с такими восторженными откликами на значимость науки для цивилизации, получившими название сциентизма, есть и другие мнения о науке — антисциентизм. Так, современный известный методолог науки П. Фейерабенд считает, что значение и роль разума (рациональности) не следует преувеличивать и, более того, науку (как главного носителя разума) необходимо лишить ее центрального места в обществе, так как «господство науки - угроза демократии». Поэтому он предлагает ее «отделить от государства» и уравнивать ее с религией, мифом, магией и другими духовными формообразованиями.

Таким образом, возрастание роли науки и научного познания в современном мире, сложности и противоречия этого процесса породили две противоположные позиции в его оценке. Сторонники сциентизма, отождествляя науку с естественно-математическим и техническим знанием, утверждают, что «наука превыше всего» и ее нужно внедрять в качестве эталона и абсолютной социальной ценности во все формы и виды человеческой деятельности. Только с помощью науки можно решить все общественные проблемы. При этом обычно принижаются или вовсе отрицаются социальные (гуманитарные) науки как не имеющие познавательного значения. В рамках сциентизма отвергается гуманистическая сущность науки как таковой.

В рамках антисциентизма, наоборот, наука и техника подвергаются резкой критике. По мнению сторонников этой концепции, наука не в состоянии обеспечить социальный прогресс, улучшение жизни людей. Исходя из действительно имеющих место негативных последствий научно-технической революции, антисциентизм в своих крайних формах вообще отвергает науку и технику, считая их силами, враждебными и чуждыми человеческой сущности, разрушающими культуру. Методологическая основа антисциентистских воззрений — абсолютизация таких отрицательных результатов развития науки и техники, как обострение экологической ситуации, военная опасность и др.

В этих альтернативных подходах к науке, безусловно, содержится ряд рациональных моментов, синтез которых позволит более точно определить ее место и роль в современной культуре. При этом одинаково ошибочно как абсолютизировать науку, так и недооценивать или полностью отвергать ее.

§ 1.2. Классификация наук и отраслей естествознания

Подходы к классификации наук

Одной из проблем естествознания является проблема классификации его отраслей, необходимой для раскрытия взаимной связи этих отраслей. При этом под классификацией обычно понимают систему соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, используемую как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов. Классификация наук обычно проводится на основании определенных принципов (объективных, субъективных, координации, субординации и т.д.) путем выражения их связи в виде логически обоснованного расположения (или ряда) наук. При этом важную роль играют способы ее изображения (табличные, графические и т.д.).

Классификация естественно-научных отраслей имеет большое значение для организации научной, учебно-педагогической, библиотечной деятельности и т.д. Классификация наук и отраслей естествознания крайне сложна. Ее созданием занимались многие исследователи. Так, в конце XIX - начале XX в. В. Виндельбанд и Г. Риккерт разделяли науки на номотетические (имеющие дело с законами) и идеографические (изучающие единичные, неповторимые явления). У первых, по их мнению, познание построено по родовым понятиям и направлено на познание законов, а у вторых оно

направлено на познание того, что индивидуально ценно.

О. Конт разработал классификацию наук (по степени уменьшения их абстрактности), противопоставив абстрактные науки конкретным. Абстрактные науки рассматривают при этом предметы без связи со специальными и индивидуальными признаками, т.е. имеют дело только со всеобщими процессами и свойствами (например, тяжесть, свет, магнетизм, материальный состав или духовные процессы как таковые), не заботясь об их принадлежности к тому или иному «царству» природы и об условиях времени и места. Конкретные науки, наоборот, рассматривают всеобщие процессы и состояния только как свойства определенных тел. В результате классификации Конт выстраивал ряд наук, начинающийся от совершенно абстрактных (математика в качестве чистой науки о формах), далее - физика, химия, психология, переходя затем к таким, которые принимают во внимание некоторые особые признаки (например, общая минералогия, общая ботаника, физиология, социология, общая политическая экономия), и заканчивая ряд конкретными науками, направленными на отдельные и коллективные понятия. Опираясь на классификацию О. Конта и идею И. Канта о том, что знания можно разделить по понятиям (логическое) и по времени и месту (физическое), А. Геттнер в 1930-х гг. предложил свою классификацию отраслей знания [4]. Он различал три группы:

1) систематические (предметные), к которым относятся науки, изучающие вещественный состав и отношение исследуемых объектов друг к другу (минералогия, петрография, ботаника, зоология и т.д.);

2) исторические (хронологические, временные), которые охватывают весь мир явлений и подразделяются на историю Земли, или историческую геологию, «первоначальную историю» и историю культурного человечества. Для этих наук главное - изучение развития явлений во времени;

3) пространственные (хорологические) науки, к которым Геттнер причислял астрономию и географию. Эти науки в первую очередь занимаются распределением объектов в пространстве, а потом уже их историей развития и вещественным составом.

Другая классификация наук и отраслей естествознания опирается на представление о формах движения материи Ф. Энгельса. Он выделял следующий ряд форм движения материи (от низшей к высшей): механическая, физическая, химическая, биологическая, социальная (экономическая). Этой последовательности соответствуют науки, занимающиеся изучением этих форм движения материи: механика, физика, химия, биология, общественные науки. Академик Б.М. Кедров предложил на уровне химической формы движения материи производить деление ряда на две ветви [7]. Одна ветвь через неорганическую химию переходит в геологическую, а другая - через органическую химию переходит в биологическую и далее в социальную форму движения. С.Т. Мелюхин предложил еще одну схему развития форм движения материи, в которой каждая низшая форма движения переходит в высшую и продолжает сосуществовать с ней. В 1970-е гг. В.С. Лямин предлагает продолжить геологическую ветвь географической формой движения, оставив за геологией изучение явлений, происходящих в литосфере, а за географией - тех, которые имеют место в гидросфере и атмосфере [12].

Помимо этих классификаций существует еще достаточно большое количество схем разделения науки и естествознания на отрасли.

Классификации позволяют в общем случае хотя бы приблизительно судить о соотношении наук и служат цели систематизации представлений о научных направлениях. Однако описанные классификации встречают определенные возражения. Есть мнение, согласно которому любое разделение науки на отрасли знания несет на себе отпечаток субъективности, так как природа едина. Поэтому известный ученый Я.Х. Вант-Гофф полагал, что всякие деления научных дисциплин произвольны, ибо наука, как и природа, отражением которой она является, образует одно неразрывное целое. А по мнению В.И. Вернадского, рамки отдельных наук, на которые распадается знание, не могут точно определить область научной мысли исследователя. Тогда целесообразно

специализироваться не по наукам, а по проблемам.

Сложившееся разделение наук

В настоящее время предпринимаются дальнейшие попытки классификации науки и отраслей естествознания. Особые споры ведутся при выявлении наиболее фундаментальных (общих, основных) направлений. Для того чтобы составить общее представление о том, как делятся современные естественные науки, можно обратиться к представлению наук в классических университетах. Как правило, здесь выделяются физический, химический, биологический, геологический и географический факультеты. В нашей стране иногда к биологическим добавляют почвенный факультет.

В Российской академии наук несколько иная классификация фундаментальных отраслей науки естествознания. О ней можно судить по списку отраслей знания, по которым Российским фондом фундаментальных исследований объявляется конкурс грантов на поддержку исследований. Классификатор имеет три уровня, два из которых приводятся ниже:

<i>01. Математика, информатика, механика</i>	<i>04. Биология и медицинская наука</i>
01-100 Математика	04-100 Общая биология
01-200 Информатика	04-200 Физико-химическая биология
01-300 Механика	04-300 Физиология и медицинская наука
<i>02. Физика и астрономия</i>	<i>05. Науки о Земле</i>
02-100 Ядерная физика	05-100 Геология
02-200 Физика конденсированных сред	05-200 Геохимия
02-300 Оптика. Квантовая электроника	05-300 Горные науки
02-400 Радиофизика, электроника, акустика	05-400 Геофизика
02-500 Физические основы энергетики	05-500 Океанология
02-600 Физика плазмы	05-600 Физика атмосферы
02-700 Теоретическая физика	05-700 География и гидрология суши
02-800 Астрономия	<i>06. Науки о человеке, природе и обществе</i>
<i>03. Химия</i>	06-100 Исторические науки
03-100 Органическая химия	06-200 Экономические науки
03-200 Неорганическая химия	06-300 Философские и социальные науки, психология
03-300 Высокомолекулярные соединения	06-400 Лингвистика, филология, культурология, искусствоведение
03-400 Физическая химия	
03-500 Динамика и структура атомно-молекулярных систем	
03-600 Фундаментальные проблемы формирования материалов	

О классификации наук в настоящее время можно судить по списку из 22 направлений, по которым в нашей стране присуждается степень кандидата и доктора наук: архитектурные науки, биологические науки, ветеринарные науки, военные науки, географические науки, геолого-минералогические науки, искусствоведение, исторические науки, медицинские науки, педагогические науки, политологические науки, психологические науки, сельскохозяйственные науки, социологические науки, технические науки, фармацевтические науки, физико-математические науки, филологические науки, философские науки, химические науки, экономические науки и юридические науки.

Таким образом, вопрос классификации естествознания восходит к традиции и

историческим причинам. Так или иначе, исходя из различных классификаций (как чисто научных, так и ведомственных), а также из структуры большинства классических университетов, можно выделить пять фундаментальных направлений естествознания: физика, химия, геология, биология и география. Эти дисциплины можно сгруппировать следующим образом: физико-химический цикл, изучающий наиболее общие свойства материи и ее видов (субстанций и веществ); цикл наук о Земле, рассматривающий вопросы проявления общих свойств материи на Земле; биологические науки, с этой точки зрения имеющие двойственную позицию: с одной стороны, они занимаются свойствами материи, а с другой - в рамках этих наук рассматривают и распределение жизни на Земле в пределах различных систем разного ранга (биогеоценозы - от самых малых до всей биосферы). Кроме указанных наук частично в этот круг включают психологию как науку, имеющую дело со всевозможными разумными существами. Проблемой классификации естественных наук является определение места некоторых дисциплин, которые выделились или всегда существовали параллельно, тесно переплетаясь с уже рассмотренными дисциплинами, но при анализе оказываются как бы в стороне: медицина, сельскохозяйственный цикл наук, почвоведение, земледелие и т.д. Особое место занимает математика, которая по существу является достаточно универсальным языком для естественно-научных дисциплин.

§ 1.3. Естествознание и религия

Взаимоотношения религиозного и научного знаний

В течение тысячелетий существования человеческих цивилизаций знания о мире, ремесла и вера не разделялись [18]. Накопление практических знаний об окружающем мире на самых древних этапах становления общества происходило в рамках мифологического, а далее религиозного миропонимания. Эмпирически найденные приемы охоты, обработки земли и создания орудий закреплялись авторитетом религии как данные свыше установления. В различных эпосах, мифах, сказаниях разных народов мира классическим сюжетом является повествование о том, как Бог (или боги) дарует людям изначально плуги, кузнечные, ткацкие и иные ремесленные орудия и научает людей, как возделывать землю, изготавливать посуду, строить дома, ткать ткани и т.д. Рождались освященные традиции.

Выделение умственного труда первоначально осуществлялось в системе религии. Тайны мира открывались только посвященным; научные знания о мире считались священными, а ученые, как правило, были священнослужителями, теологами. В Египте, Вавилонии, Ассирии, Китае в древних храмах, монастырях возникали и сохранялись письменность, системы исчислений. Древние мудрецы умели определять периоды солнечных и лунных затмений, решать уравнения первой, второй и даже третьей степени, определять площади фигур. Был изобретен календарь, в котором год делился на 12 месяцев, по 30 дней в каждом. Египетские жрецы имели большие практические знания в химии, медицине, оповещали население о разливах Нила, нашли способ бальзамирования тел, изготовления папируса. Древние сооружения, пирамиды, храмы и сегодня поражают своей грандиозностью, красотой и глубиной заложенных в них математических, астрономических и других знаний.

Теоретическое сознание как оперирование понятиями, необходимое для возникновения науки, также формировалось в рамках религиозного мировоззрения. Так, в пифагорейской школе понятие числа приобретает особый статус. Проникновение в природу числа мыслилось как специфический путь постижения сущности мира. Чтобы стать объектом теоретического сознания, число первоначально должно было сакрализоваться, превратиться в объект почитания. В средние века в рамках схоластики развивались логические знания. Не только математика, логика, но и астрономия, медицина и другие отрасли науки как особые отрасли духовного производства возникали и функционировали

в системах религиозного мировоззрения.

Формирующееся естествознание постепенно создавало понятийные системы, образуя свой теоретический мир, отличающийся от того, который разворачивался перед обыденным сознанием. Естествознание вырабатывало набор особых критериев, призванных отделить ее от других форм духовной деятельности. Пока формирующееся естествознание, его понятия и идеи носили сакрализованный характер, т.е. были наделены священным религиозным содержанием, оснований для конфликтов между религией и естествознанием не возникало, поскольку знания о природе вписывались в религиозную картину мира. Эти конфликты стали проявляться тогда, когда большинство религий полностью сакрализовали картину мира, а естествознание, вырабатывая свои методы познания, стало подвергать сомнению элементы этого миропонимания.

Особую остроту взаимоотношения религии и естествознания приобрели в XVII-XVIII вв. Один из таких конфликтов возник вокруг созданной Н. Коперником гелиоцентрической системы движения планет. Сам автор предложил ее как наиболее простой способ исчисления пасхалий; он говорил: «Моя задача - найти истину в великом Божьем творении». Однако объективно эта система подрывала представление о Земле как неподвижном центре Вселенной.

В 1600 г. за пропаганду гелиоцентрической системы и идеи о множестве обитаемых миров был сожжен в Риме Дж. Бруно. Г. Галилея заточили в тюрьму и вынудили публично отречься от поддержки гелиоцентрической системы. Теологам было сложно согласовать библейскую идею творения Богом Вселенной для человека, который оказался не в ее центре, а на одной из планет Солнечной системы, расположенной на краю Галактики.

Несмотря на то что сочинение Коперника находилось в Индексе запрещенных книг до 1820-х гг., его идеи распространялись. Открытые в XVII в. и примененные затем для объяснения движения планет законы механики, закон всемирного тяготения уже не воспринимались в качестве ереси. Так, И. Ньютон, будучи христианином, считал свои открытия вполне совместимыми с христианством. Ньютон считал, что из слепой физической необходимости, которая всегда и везде одинакова, не могло бы произойти никакого разнообразия и все соответственное месту и времени разнообразие сотворенных предметов, что и составляет строй и жизнь Вселенной, могло произойти только по мысли и воле Сущего Самобытного — Господа Бога.

Гелиоцентрическая система укоренялась в сознании естествоиспытателей, и теология вынуждена была смириться с этим. Сформулированная во второй половине XVIII в. гипотеза И. Канта и П.С. Лапласа о возникновении Солнца и планет из вращающегося раскаленного газового облака уже не вызывала резкой реакции церкви в изменившейся культурной атмосфере, хотя и отвергалась ею.

В своем объяснении мира идеал классического естествознания требует исходить из того, что существует, а религия исходит из того, что то, что существует, имеет еще и смысл. Этому идеалу соответствовало представление мира в форме бесконечной причинно-следственной связи явлений, т.е. такой их совокупности, которая, рассмотренная в целом, причины вне себя иметь не может.

Одним из существенных аспектов сформировавшегося в XVII-XVIII вв. классического естествознания было исключение из числа категорий научного мышления понятия цели. Сформированные в этот период естественно-научные программы были едины в том, что естествознание должно полностью освободиться от телеологии: природа — царство действующих причин, в ней нет смысловых связей, а есть лишь связи причинно-следственные.

Благодаря успехам механики как науки была создана механическая картина мира, в которой Бог признавался в качестве творца материи и движения. На этой научной основе возникла новая философская концепция - деизм, который противопоставляется исторически существовавшей религии. В деизме Бог признается как мировой разум, сконструировавший целесообразную «машину» природы и давший ей законы и движение,

но отвергает дальнейшее вмешательство Бога в самодвижение природы (т.е. «промысел божий», чудеса и т.п.) и не допускает иных путей к познанию Бога, кроме разума. Конфликтная ситуация возникает не из-за законов самой небесной и земной механики. Здесь друг другу противостоят разные картины мира, разное понимание божественного присутствия в нем, а вере в Откровение противопоставляется рациональный метод познания мира.

Процесс быстрого накопления научных знаний в XIX в. привел к созданию новой картины мира. Особую роль в ее формировании сыграл открытый в 1840-х гг. закон сохранения энергии, утверждавший неуничтожимость энергии, ее переход из одного вида в другой, неуничтожимость материи. Другим важным открытием в исследовании живой природы было установление клеточного строения живых тел. Было доказано, что клетка является элементарной структурной единицей живого - растений, животных, микроорганизмов. Химики, синтезировав мочевины, которую находили ранее только в живом теле, показали, что при всей глубине различий живого и неживого между ними нет непроходимой пропасти.

В середине XIX в. новый конфликт между религией и естествознанием возник в связи с появлением теории Ч. Дарвина. Обобщив обширный фактический материал, он доказал, что виды растений и животных не постоянны, а изменчивы, и пришел к выводу, что способность организмов приспосабливаться, целесообразность их строения и поведения есть результат процесса естественного отбора. Теория Дарвина вступала в противоречие с идеей божественной целесообразности живой природы, подводила к выводу о естественном возникновении жизни на Земле. Эти и другие открытия создавали картину природного мира, в которой разные формы движения при всех их отличиях оказались взаимосвязанными и объясняемыми на основе своих собственных, присущих природе самого предмета законов.

В конце XIX в. началась революция в естествознании, ознаменовавшаяся открытием рентгеновских лучей, радиоактивности, электрона. В 1920-х гг. создана теория строения атомов и молекул, открыты и изучены свойства элементарных частиц. На основе этих достижений во второй половине XX в. стало возможным практическое использование атомной энергии, эксперименты в области термоядерного синтеза. Был открыт микромир, в котором действуют неизвестные ранее явления в объектах с необычными свойствами, выявлены многообразие и изменчивость космической среды — мегамира. Развитие генетики позволило добиться успехов в изучении механизма наследственности. В XX в. новое развитие получила идея эволюционизма. Она привела к созданию синтетической теории эволюции как продукта синтеза классического дарвинизма с современной молекулярной генетикой. Более того, эволюционизм вышел за пределы биологии. Важнейшие проявления современной идеи эволюционизма выразились в концепции эволюции Вселенной (А.А. Фридман, Г.А. Гамов, Э.П. Хаббл и др.), неравновесной термодинамике (И. Пригожий), синергетике (Г. Хакен), идее самоорганизации (Н. Винер, У.Р. Эшби и др.), в обнаружении дарвиновского отбора на уровне молекулярных структур (М. Эйген). Современный этап научно-технической революции открывает широкие перспективы для общества, которые ассоциируются с микроэлектроникой, информатикой, робототехникой, биотехнологией, созданием материалов с заранее заданными свойствами и новыми источниками энергии. Развитие микроэлектроники позволяет значительно увеличить возможности человека при решении интеллектуальных задач, повысить производительность труда и изменить его характер.

Естественно-научные открытия и основанный на них научно-технический прогресс оказали заметное воздействие на интерпретацию фундаментальных принципов различных типов и видов мировоззрений. В конечном счете это послужило одним из факторов процесса секуляризации, т.е. освобождения от религиозного влияния многих сфер жизнедеятельности общества и личности.

В то же время использование достижений науки и техники для создания оружия

массового уничтожения, накопление его в огромных масштабах порождают у людей серьезную обеспокоенность, неуверенность в завтрашнем дне. Кроме того, нарастающие темпы промышленного развития создают глобальные экологические проблемы. Проникновение человечества в микро- и мегамир, к которым неприменимы обычные характеристики и представления, сложившиеся в макромире, породило в сфере естественных наук тенденцию к утверждению инструментализма как методологического принципа. Согласно этому принципу, наука не может открыть и не открывает нам новых миров, она является лишь инструментом, при помощи которого описываются наблюдаемые явления.

Естествознание с точки зрения теологов

Современное естествознание оказывает влияние как на формирование нерелигиозного мировоззрения, так и на процессы адаптации религиозного мировоззрения к условиям современности. Развитие науки ставило и ставит перед теологией принципиальные вопросы. Среди богословов нет единства в трактовке многих положений религии [18].

Одни из них отстаивают идею творения, используя естественно-научные теории тепловой смерти Вселенной, большого взрыва, «черных дыр», генных мутаций и пр., а также ссылаясь на нерешаемость на данном уровне развития знаний ряда научных проблем. Так, в 1970 г. в США был создан Институт креационных исследований. Обычно под *креационизмом* понимают направление в естественных науках, объясняющее происхождение мира актом сверхъестественного творения и отрицающее эволюцию. Основатель института Г. Моррис полагает, что креационная модель творения в отличие от эволюционной выделяет особый начальный период творения, в течение которого важнейшие системы природы были созданы в завершеном, действующем виде с самого начала. Поскольку естественные процессы в настоящее время ничего подобного не создают, процессы творения должны быть сверхъестественными; их осуществление требовало всемогущего, трансцендентного, «запредельного» Создателя. Когда Создатель завершил акт творения, процессы создания были окончены и заменены процессами сохранения, чтобы поддерживать Вселенную и обеспечить ей возможность выполнить некое предназначение [16].

Попытки истолкования естественно-научных фактов для доказательства существования Высшего Творца и отрицание эволюционных идей предпринимаются не только в христианстве. Так, интерпретацию эволюционной теории с позиций ислама дает турецкий теолог Аднан Окта (Харун Яхья). Рассматривая различные объекты из области современного естествознания (атомы, клетки, гормоны, растения и животные, человек и т.д.), он приходит к заключению, что все они настолько сложны, что не могли быть созданы эволюционным путем, а лишь с помощью Всевышнего.

В христианском модернизме популярно мнение о том, что в библейских историях творения отражен не реальный ход событий, а свидетельство определенного этапа развития человеческого опыта, знания о мире, стиля мышления и речи. Например, протестантский богослов Дж. Хик утверждает, что истории творения по своему характеру мифологические и современная теология не должна поддерживать положение о творении. По его мнению, оценивая сегодня библейские представления о творении, абсурдно настаивать на том, что они являются наукой или историей, и делать о них научные или исторические заключения.

Современные теологи по-разному оценивают причины и сущность конфликтов между религией и наукой. Некоторые из них полагают, что противоборство религии и науки объясняется непониманием Священного Писания, в котором Бог, давая человеку наказ владычествовать над миром, косвенно предписывал ему заниматься наукой, ибо без ее помощи неосуществимо выполнение божественного наказа. А. Хайард, будучи одновременно и физиком, и богословом, считает, что в таких конфликтах нередко повинны и сами служители церкви, отвергавшие научные теории на основании собственных

интерпретаций библейских текстов. Сталкиваясь с научными теориями, которые противоречили их представлениям о мире, они предпочитали не анализировать их, а априори объявляли несоответствующими Писанию и на этом основании отвергали их. По мнению Хайярда, такие теологи, выступая против науки, думали, что они защищают веру и Библию, но на самом деле они отстаивали собственные, часто неверные ее интерпретации, нанося в итоге вред своему делу, ибо создавали у людей впечатление, что христианство противостоит научному методу познания.

Широко распространены представления о том, что в конфликте религии и науки виновниками столкновений являются обе стороны. Теологи Э. Фер, О. Шпюльбек, Н. Янг и др. видят причины конфликтов между религией и наукой в том, что обе стороны переходили границы своих областей исследования и позволяли себе вторгаться в сферы, где они не могли высказывать компетентных суждений: теологи требовали от ученых, чтобы их данные согласовывались с религиозными представлениями о мире, а ученые утверждали, что их достижения доказывают ложность представлений о существовании Бога.

Теологи полагают, что наблюдаемые сегодня результаты такого противостояния крайне плачевны, поскольку у ученых отсутствует чувство ответственности за последствия внедрения естественно-научных достижений в практику. Здесь церкви могли бы выступать как «моральные посредники», помогающие человеческому обществу в научной и технологической деятельности.

При реализации этой программы необходимо установить новые отношения между религией и наукой.

Долгое время в теологии была популярна точка зрения, согласно которой конфликтов религии и науки можно избежать, если рассматривать их как независимые области человеческой деятельности и культуры вследствие фундаментальных различий между ними. Такая точка зрения вызывает возражения у многих теологов, поскольку они считают, что тот, кто не принимает божественного вторжения в природу, вряд ли согласится допускать его вмешательство и в сферы личности, общества, истории. Кроме того, если можно построить адекватную картину природного мира без соотнесения ее с Богом, то очевидно, что такой Бог не может быть подлинным Богом-Творцом, следовательно, в него нельзя верить и как в источник морали.

Другие теологи, обращаясь к идее разграничения религии и науки, полагают, что научная интерпретация основана на принципе причинности, а фундаментом религиозной интерпретации является убеждение в наличии смысла, значения вещей. Конечно, наука может обнаруживать и изучать смыслы отдельных феноменов и процессов, но смысл целостной структуры мира и культуры для нее недоступен, поэтому она не может указать человеку жизненную ориентацию, определить цель его существования. Религия же позволяет достичь подлинной истины через изменение, реформацию самого человека, оказывая ему помощь в обретении смысла жизни.

Х. Ролстон высказывается так: наука ищет знания, а религия — мудрости, т.е. они не исключают друг друга, а частично совпадают. Следовательно, союз религии и науки может быть полезен для обеих сторон.

Желая установления союза религии и науки, теологи отмечают сходность черт этих областей культуры. Так, индийский теолог П. Грегориос считает, что обе они представляют собой пути отношения человека к реальности, имеют субъективный и объективный полюсы, когнитивное (познавательное) и практическое содержание. Обе изучают структуру реальности, оказывают влияние на самого человека и на его отношение к миру. И религия, и наука характеризуются определенными традициями, наличием преемственности в своей деятельности, являются институционально организованными общественными учреждениями и претендуют на исключительный доступ к знанию реальности.

Некоторые теологи объявляют науку особым родом религий. По их мнению, наука, как и

теология, занимается трансцендентными объектами, выходящими за пределы непосредственно наблюдаемого. Религия и наука пытаются постигать действительность при помощи понятийных конструкций, являющихся продуктом мышления исследователей. Например, физики сегодня оперируют понятием «нейтрино» - конструкцией, используемой для объяснения определенных физических процессов и содержащей ряд свойств, которые невозможно изобразить при помощи классической физики. То же можно сказать и о теологическом определении Божественной Троицы (Триединства), которое также является понятийной конструкцией, характеристики которой не могут быть описаны в терминах, относящихся к сотворенному миру.

Непосредственная ненаблюдаемость того или иного феномена и невозможность его изображения вовсе не означают отрицания его существования. Поэтому, с точки зрения Ролстона, неверие в Бога на основании его невидимости не более резонно, чем неверие по той же причине в элементарные частицы.

По мнению некоторых теологов, и в науке, и в религии используются руководящие теоретические концепции, или парадигмы. В науке это, например, ньютоновская и эйнштейновская, птолемеевская и коперниковская системы объяснения устройства и функционирования мира. Парадигмы в религии - признание того, что Бог есть Любовь, что Христос - Богочеловек и т.п. Так же как и в науке, в религии были парадигмы, которые сегодня полностью отброшены или серьезно оспариваются: шестидневное творение, вербальная непогрешимость Библии и др. Конечно, религиозные парадигмы устойчивее, чем научные, но и они переживают рождение и гибель.

Другой вопрос, который активно обсуждается теологами, - соотношение объективного и субъективного в науке и религии. И та, и другая стремятся к тому, чтобы их информация была объективной, но элемент субъективного неизбежно присутствует в них обеих. Всякое познание представляет собой определенное отношение человека к реальности, поэтому субъективный фактор играет в познавательном процессе существенную роль. Ясно, что в религию элементы субъективного проникают более глубоко, чем в науку. Но сегодня и научное познание становится все более субъективным, поскольку радикально меняется статус исследователя: из простого зрителя он превращается в активного участника, которого нельзя отделить от объекта наблюдения. Так, в квантовой физике процесс наблюдения решающим образом влияет на наблюдаемую систему; кроме того, ученый сам выбирает, что и как изучать. Теологи все же признают, что наука дает объективное знание о мире, что в целом она не субъективна, а скорее персональна, она выдерживает попытки фальсифицировать ее, успешно объясняет факты, генерирует подтверждаемые опытом предсказания. От субъективизма науку во многом предохраняет то, что ученый работает не один, а в научном сообществе.

Многие теологи настаивают на том, что полное адекватное постижение действительности возможно только при условии объединения религиозного и научного путей ее познания. Для обоснования этой возможности используется принцип дополнительности, выдвинутый Н. Бором в 1920-х гг. для истолкования познавательной ситуации, возникшей в квантовой механике. Согласно этому принципу, при экспериментальном исследовании микрообъекта могут быть получены точные данные либо о его энергиях и импульсах, либо о поведении в пространстве и времени. Эти две взаимоисключающие картины - энергетически-импульсная и пространственно-временная, получаемые при взаимодействии микрообъекта с соответствующими измерительными приборами, «дополняют» друг друга. Поэтому некоторые современные теологи признают возможность построения единой целостной картины мира на основе синтеза науки и религии. Для реализации этой задачи следует избегать крайностей - соблазна фиксировать их сходство и забывать о различиях или, наоборот, абсолютизировать эти различия. Например, папа Иоанн Павел II считает, что единство религии и науки, к которому стремится христианство, вовсе не означает их идентичности. По его мнению, единство всегда предполагает несходство и интеграцию его элементов. Каждый из элементов

должен стать не меньше, а больше себя в динамическом взаимодействии, ибо единство, в котором один из элементов редуцируется к другому, является деструктивным, ложным в его обещании гармонии и гибельным для интеграции его компонентов.

§ 1.4. Естествознание и философия

Взаимоотношения философии и естествознания

Между философией и естествознанием всегда существовала тесная взаимосвязь [14, 24, 28, 29]. Она восходит еще к античному периоду становления науки. Как уже отмечалось, первичное нерасчлененное знание о мире и человеке, накопленное в течение многих столетий развития первобытно-родового общества, было совокупностью эмпирических сведений, верований и мифов, устно передававшихся от поколения к поколению. Изобретение письменности, развитие материального производства, разделение умственного и физического труда интенсифицировало накопление знаний. Это привело к возникновению науки как теоретической системы знаний о мире, а затем - к дифференциации наук. Становление философии и конкретных естественных наук по их предмету и теоретическому содержанию исторически происходило более или менее одновременно и параллельно при постоянном взаимодействии друг с другом и непрерывном обмене концепциями. Уже в Древней Греции наряду с философскими концепциями мироздания и общества начали формироваться такие науки, как астрономия, арифметика, геометрия, география, медицина, история, которые не считались философией.

Вместе с этим происходило предметное самоопределение философии, которая все более сосредоточивалась на всеобщих проблемах бытия и познания. В ее рамках рассматривались вопросы сущности мира: был ли он создан Богом или существует вечно и материален; в чем смысл жизни; каковы перспективы и цели общества, грядущая судьба человечества; познаваем ли мир и каковы законы и методы этого познания. Эти вопросы и сейчас являются предметом философских дискуссий. Естественные науки также участвовали в их обсуждении и давали свои решения, но по мере дифференциации наук и более точного определения их предмета область исследования в каждой из наук ограничивалась более частными и конкретными вопросами.

Считается, что становление теоретического естествознания началось в XVII в. во многом благодаря ускоряющему воздействию материального производства и развитию капитализма.

В XVII-XIX вв. активно развиваются математика, физика, астрономия, биология и другие естественные и гуманитарные науки, все более отдаляющиеся от философии. В натурфилософии (философии природы) того времени конкретно-научные теории и факты часто связывались со схемами религиозного мироздания. Так, Г.В. Лейбниц все явления природы трактовал как формы реализации некоторой мудрой цели, поставленной творцом, создавшим этот лучший из всех возможных миров. И. Кант развивал динамическую концепцию материи как формы проявления активной энергии, вложенной Богом в субстанцию в момент создания мира.

В натурфилософии Ф.В. Шеллинга и Г.В.Ф. Гегеля также давалось телеологическое и пантеистическое понимание природы. Например, по Гегелю, природа - это форма инобытия абсолютного духа, который в процессе саморазвития трансформируется в природные и социальные явления и через них все более полно познает свою сущность, достигая в конечном счете абсолютного знания. При этом если теории и факты естествознания не укладывались в общую концепцию, то эти теории и факты должны быть отвергнуты как ложные. Так, Гегель выступает против спектральной теории света Ньютона, отвергает атомистику, кинетическую теорию теплоты и т.д. В конечном счете всякую науку Гегель рассматривал как прикладную логику.

Натурфилософские представления развивались и в рамках французского материализма второй половины XVIII в. В трудах П.А. Гольбаха, Д. Дидро, Ж.Л. Д'Аламбера, П.С.

Лапласа, Ж.О. Ламеттри излагается представление о природе как о движущейся материи, вечной во времени и бесконечной в пространстве, находящейся в постоянном саморазвитии в виде круговоротов и закономерно порождающей жизнь и разум на планетах, где для этого существуют благоприятные условия. По их представлениям, все явления в мире детерминированы материальными связями и естественными законами, познание которых даст со временем возможность объяснить любые явления. Гегель называл такой материализм механическим. Этот термин впоследствии получил достаточно широкое распространение. Из всех естественных наук того времени механика достигла наибольших успехов ко второй половине XVIII в., особенно астрономия и небесная механика. Французские материалисты широко использовали эти достижения, но не ограничивались ими. В своей философской аргументации они обращались к естественным наукам, фактам истории, искусству, этическим и правовым теориям. В России того времени соединение достижений науки и материалистического миропонимания было осуществлено в трудах М.В. Ломоносова.

В XIX в. натурфилософия развивалась в трудах П.С. Лапласа, Дж. Дальтона, Л. Фейербаха, М. Фарадея, Дж.К. Максвелла, Ч. Дарвина, Э. Геккеля, Л. Больцмана и других ученых, которые в своем философском миропонимании опирались на достижения науки, а некоторые из них сами были авторами фундаментальных открытий и теорий. Характерно, что новые естественнонаучные концепции вначале формулировались их авторами в виде философских идей, а по мере их разработки, эмпирического и теоретического обоснования воплощались в конкретно-научные теории. Философское миропонимание выполняло конструктивную эвристическую функцию.

Во второй половине XIX в. проблему взаимодействия философии и естествознания рассматривали К. Маркс и Ф. Энгельс. Так, Энгельс свой труд «Диалектика природы» посвятил диалектико-материалистическому анализу достижений науки в понимании природы, раскрытию всеобщих свойств и законов движения материи, уточнению принципов диалектического материализма. По мнению Энгельса, не природа должна согласовываться с принципами, а принципы верны лишь постольку, поскольку они соответствуют действительности.

Как негативная реакция на идеалистическую натурфилософию получил распространение позитивизм О. Конта и его последователей. Конт полагал, что наука не нуждается в организующей ее философии, что она сама заключает в себе философское понимание мира и его познания. Согласно концепции позитивизма, подлинное, «положительное» (позитивное) знание может быть получено лишь как результат отдельных конкретных наук и их синтетического объединения. На место той философии, которая существовала тогда, Конт предлагал поставить синтетическое научное знание, сведенное к общим выводам из естественных и общественных наук. Позитивизм отвергает претензии философии на раскрытие причин и сущностей. По Конту, наука не объясняет, а лишь описывает, отвечает на вопрос не «почему», а «как». В рамках исторически первой формы позитивизма, именуемой классическим позитивизмом, утверждалось, что наука способна к бесконечному развитию (О. Конт), однако мир объективной реальности непознаваем (Г. Спенсер).

Позитивизм Конта послужил одним из важнейших источников философии эмпириокритицизма (махизма) - второго этапа развития позитивизма. Дело в том, что открытия конца XIX - начала XX в. (делимость атомов, существование кванта действия и других качественно иных законов микромира) привели к кризису механической картины мира. Это было истолковано некоторыми философами как кризис физики, опровержение материализма и доказательство полной относительности и условности научных теорий. Э. Мах, Р. Авенариус и их последователи сформулировали свою философию естествознания — эмпириокритицизм. В рамках этой философии, так же как и в классическом позитивизме, отрицались и материализм, и идеализм. Мах рассматривал материю как совокупность «элементов мира», представляющих собой комбинации физических и

психических свойств (вторичных качеств). Он сформулировал принцип экономии мышления, по которому мышление представляет собой изначальную биологическую потребность организма в самосохранении, обуславливающей необходимость «приспособления» организма к фактам. Поэтому объяснительная часть науки является излишней и в целях экономии мышления должна быть удалена. То же содержание Авенариус вкладывает в принцип наименьшей траты сил. Считая, что в опыте снимается противоположность материи и духа, он выдвинул теорию принципиальной координации, согласно которой «без субъекта нет объекта», т.е. без сознания нет материи. Таким образом, природа ставилась в зависимость от субъекта и способов ее восприятия.

Дальнейшее развитие позитивизма связывают с неопозитивизмом, появление которого относят к 1920-м гг. Продолжая традицию позитивизма, сторонники неопозитивизма отрицают возможности философии как теоретического познания, отрицают постановку вопроса об отношении материи и сознания, считая это способом преодоления конфронтации идеализма и материализма. В рамках данного течения внимание концентрируется на анализе роли знаково-символических средств научного мышления, отношения теоретического аппарата и эмпирического базиса науки, природы и функции математизации и формализации знания и пр.

Кроме рассмотренных философских систем и их отношения к естествознанию существуют и другие взгляды. Однако нам интересны две крайние «модели» решения вопроса взаимодействия естествознания и философии: во-первых, умозрительно-философский подход (натурфилософия, философия истории и т.п.), сущность которого состоит в прямом выведении специальных положений частных наук непосредственно из общих философских принципов без проведения анализа конкретного - фактического и концептуального - материала естественных наук; во - вторых, позитивизм, согласно которому «наука сама себе философия». При использовании этих крайних моделей роль философии в частнонаучном познании либо абсолютизируется (в первой модели), либо принижается или даже вообще отвергается (во второй).

Философские основания естествознания

Взгляды на то, что является философскими вопросами естествознания, исторически менялись с развитием науки [14, 24, 28, 29 и др.]. В XVII-XVIII вв. философскими считались вопросы о природе теплоты, электричества, магнетизма, о свойствах атомов, строении Солнечной системы, причинах болезней и т.п. По мере их решения они переходили в ведение физики, астрономии или медицины. Мысль философов устремлялась к новым проблемам, по которым выдвигались различные гипотезы. Но когда эти проблемы становились объектом специального научного исследования в конкретных дисциплинах, по ним накапливался большой эмпирический материал и ученые давали их теоретическое объяснение, большинство философов утрачивало к ним интерес, переходя к новым спорным вопросам общего характера. Так, в конце XIX в. обсуждались вопросы о природе эфира, сущности электромагнитного поля, строении атомов, происхождении звезд, эволюции живой природы и др. Затем философские дискуссии переместились в область анализа квантовой механики, теории относительности, космологии, генетики, а многие из этих дискуссий продолжают до сих пор.

Философские проблемы науки обычно находятся на переднем крае науки, отличаются неоднозначностью решений, служат объектом различных подходов в дискуссиях. Иногда они совпадают с общетеоретическими проблемами какой-либо фундаментальной науки, но это не обязательно, так как в науках существует много общетеоретических нефилософских проблем. Теоретические и философские проблемы совпадают тогда, когда решение их важно не только для одной конкретной науки, но и для других наук, вносит вклад в общую картину мира и методологию познания. Философские проблемы естествознания возникают на «стыках» различных дисциплин и философии, их разработка и решение выступают как одна из важных форм интеграции научного знания. В качестве

критерия философского характера той или иной естественно-научной проблемы принимается наличие в ней гносеологических (эпистемологических) аспектов; мировоззренческие, методологические и социальные проблемы также считаются философскими.

В рамках современной философии рассматриваются разнообразные естественно-научные проблемы, например: раскрытие общих свойств, законов структурной организации, изменения и развития различных типов природных систем; выявление закономерностей естественно-научного познания, его логики и методологии, психологии научных открытий; анализ дифференциации и интеграции научного знания, соотношения между новыми и старыми теориями, различными методами познания, определение возможностей и сферы применимости каждого из общенаучных методов и т.д.; анализ социальных аспектов применения естественно-научных открытий, а также социального статуса естествознания; определение степени универсальности категорий, законов и принципов естествознания, границ их применимости, содержательной логики этих теорий; изменение предмета теории с ее развитием.

Полученная в результате решения проблем информация распределяется двояким образом. Информация, имеющая глобальное мировоззренческое или социальное значение, входит в систему философских знаний. Если выводы имеют конкретно методологический смысл, они включаются в теорию фундаментальных наук. Более того, та или иная философская категория, имеющая общенаучное значение и интенсивно используемая в частных науках, детально разрабатывается в ее смысловом содержании в контексте науки и философии. Старые же философские категории или принципы, не используемые в науке, и в философии со временем выходят из употребления и представляют лишь исторический интерес. Например, общенаучный статус приобрели такие категории, как материя, движение, пространство, время, связь, взаимодействие, причинность, система, структура, вероятность, бесконечность, развитие, целостность и др. И в философии эти категории и связанные с ними принципы получили дальнейшее развитие. Вместе с тем некоторые широко употреблявшиеся в прошлом философские категории, в частности модусы субстанции, акциденции, сущностные силы, вещь в себе, в-себе-бытие, для-себя-бытие и др., не прижились в естествознании и, как следствие, практически вышли из употребления в философии современного естествознания.

При анализе философских вопросов естествознания особенно важны не столько сами конкретные вопросы или проблемные ситуации (их может быть очень много), сколько их конструктивные решения, обогащающие научное знание и входящие затем в систему философских оснований науки. К таким основаниям относят фундаментальные принципы и законы теории, составляющие ее каркас и придающие ей целостность. В каждой науке существуют собственные теоретические основания, которые используются для объяснения эмпирических фактов и предсказания новых явлений.

Кроме фундаментальных принципов и законов в теории имеются философские основания в виде положений, принципов и законов мировоззренческого, методологического или социального содержания. Мировоззренческие основания включают в себя совокупность фундаментальных принципов и законов, отражающих наиболее общие, или универсальные, свойства и законы бытия, материи, важнейшие стороны действительности. Методологические основания - это принципы познавательной деятельности, законы развития и смены теорий, взаимоотношения между различными теориями, совокупность методов научного познания. В системе методологических оснований раскрывается взаимоотношение между общими методами познания: индуктивным, дедуктивным, аксиоматическим, моделирования, системно-структурным и др. Помимо этого, методология еще подразумевает мировоззренческие законы и принципы, если они используются для объяснения явлений природы, интеграции научного знания либо являются ориентирующими установками в познании. Социальные основания теории включают в себя систему принципов и положений, определяющих место данной

науки в общем человеческом знании, ее цель и назначение в плане удовлетворения социальных потребностей и ориентации, взаимоотношение науки и производства, науки и общественных отношений, морали, искусства, эстетические аспекты в научном творчестве и в развитии теории, движущие силы и закономерности развития теорий как социальных явлений.

Философские основания фактически входят в содержание любой фундаментальной науки, определяют ее мировоззренческое и методологическое значение. От исходной философской идеи нередко зависит степень обоснованности разрабатываемой гипотезы или концепции. Развитие наук неизбежно влечет за собой смену научных теорий, возможность ретроспективного анализа выдвигавшихся концепций, совершенствование общенаучных методов исследования, фундаментализацию одних теорий при помощи других. При последовательном решении многих традиционных проблем возникают новые философские проблемы в науках.

Рациональное решение проблемы взаимодействия естествознания и философии связано с рядом соображений. Во - первых, воздействие философских принципов на процесс научного исследования, как правило, осуществляется не прямо, а сложным опосредованным путем - через методы, формы и концепции других методологических уровней (прежде всего через общенаучный). Философия влияет на научное исследование на всех его стадиях, но в самой большой степени - при построении фундаментальных теорий. Причем это влияние может быть как позитивным, так и негативным - в зависимости от содержания философских идей, которыми руководствуется ученый. Воздействие философии на развитие научного познания объясняется ее умозрительно-прогностической функцией. Научная значимость выработанных философией идей и принципов подтверждается спустя много времени. Например, идеи атомизма и диалектики, выдвинутые в античности, были подтверждены физическими экспериментами только в недавнем прошлом. Очень важно, что принципы философии при переходе от умозрения к теоретическому исследованию выполняют функцию селекции или отбора: из множества умозрительных конструкций ученый выбирает именно те, которые согласуются с его собственными философскими и методологическими представлениями.

Во-вторых, философия - один из элементов научного поиска, а ее принципы - один из факторов поиска (наряду с опытом, интуицией, фантазией, воображением и т.д.). Поэтому даже при наличии хорошо обоснованных философских принципов положительный результат не гарантирован. Философские методы не всегда проявляются в процессе исследования. Однако в любой науке есть элементы всеобщего значения (законы, категории, понятия и т.д.), которые и делают конкретную науку, по выражению Гегеля, «прикладной логикой». Философия дает конкретным естественным наукам общие методологические принципы, которые функционируют в науке в виде универсальных норм, образующих в совокупности методологическую программу самого высокого уровня.

Итак, философия разрабатывает наиболее общую картину мира, строит определенные универсальные модели реальности, сквозь призму которых ученый смотрит на свой предмет исследования. Философия, синтезируя все знания, представляя мир в его универсальных характеристиках, дает общее видение мира, всеобщую основу для разработки конкретно научных представлений о мире. Философия помогает исследователю выбрать характерную для конкретной науки систему категорий, принципов, понятий и других средств и форм познания, определенные мировоззренческие и ценностные установки и т.д. Она вооружает его знанием общих закономерностей самого познавательного процесса в целом, учением об истине и путях ее достижения, о социокультурном контексте познания и т.п.

§ 1.5. Естествознание и математика

Сущность математики и история ее развития

Наука не может ограничиться констатацией фактов и отдельных эмпирических законов. На определенном этапе ее развития необходим переход от чувственно-эмпирического исследования к рационально-теоретическому. На этой стадии выдвигаются гипотезы для объяснения фактов и эмпирических законов, установленных с помощью наблюдений и экспериментов. В процессе разработки и проверки гипотез приходится обращаться не только к логическим, но и к математическим методам. Поэтому естествознание тесно связано с математикой, которая, исследуя формы и отношения, встречающиеся в природе, обществе, а также в мышлении, отвлекается от содержания и исключает из допускаемых внутри нее аргументов наблюдение и эксперимент. Математику нельзя причислить к естествознанию или общественным наукам: естествознание непосредственно изучает природу, а математика изучает не сами объекты действительности, но математические объекты, которые могут иметь прообразы в действительности [21, 29].

Формирование математики как самостоятельной отрасли научного знания обычно относят к античности. В это время появляются различные представления о соотношении математических образов и реальных природных объектов, следовательно, о соотношении математики и естествознания [13]. Так, Платон считал, что понимание физического мира может быть достигнуто только с помощью математики, ибо «Бог вечно геометризует». Для Платона математика не просто посредник между идеями и данными чувственного опыта - математический порядок он считал точным отражением самой сути реальности. Наименьшие части элемента Земли он ставил в связь с кубом, наименьшие части элемента воздуха - с октаэдром (правильным многогранником с 8 треугольными гранями, 12 ребрами, 6 вершинами, в каждой из которых сходятся 4 ребра), элементы огня — с тетраэдром (правильной треугольной пирамидой, имеющей треугольные 4 грани, 6 ребер, 4 вершины, в каждой из которых сходятся 3 ребра), элементы воды - с икосаэдром (правильным многогранником с 20 треугольными гранями, 30 ребрами, 12 вершинами, в каждой из которых сходятся 5 ребер). Не было элемента, соответствующего додекаэдру (правильному многограннику, имеющему 12 пятиугольных граней, 30 ребер, 20 вершин, в каждой из которых сходятся 3 ребра), и Платон предположил, что существует пятый элемент, который боги использовали, чтобы создать Вселенную. Он конструировал свои правильные тела из двух видов треугольников - равностороннего и равнобедренного прямоугольного. Соединяя их, он получал грани правильных тел, которые можно разложить на треугольники, а из этих треугольников построить новые правильные тела. Например, по Платону, один атом огня и два атома воздуха в сочетании дают один атом воды. С его точки зрения, треугольники нельзя считать материей, т.е. они не имеют пространственного протяжения. А при объединении треугольников в правильные тела возникает частица материи. Поэтому наименьшие частицы материи представляют собой математические формы. Аристотель, подвергая взгляды Платона сомнению, придерживался другого мнения: он считал, что математические предметы не могут существовать отдельно.

Математика интенсивно развивалась в античности. Поворотным событием для дальнейшего развития научного знания стала работа Евклида «Начала», где впервые применялись доказательства. Эта математическая система была преподнесена как идеальная версия того, что составляло содержание реального мира. Значительно расширили математическое знание греки Александрийского периода: Аполлоний («Конические сечения»), Гиппарх, Менелай, Птолемей, Диофант («Арифметика») и т.д.

В средневековой Европе главенствующую роль заняла теологическая ветвь науки, а исследование природы любыми средствами, в том числе математическими, трактовалось как предосудительное занятие. Центр научной мысли переместился в Индию, а несколько позже - в арабские страны. В Индии того времени вводятся в широкое употребление десятичная позиционная система счисления и ноль для обозначения отсутствия единиц данного разряда, зарождается алгебра. В арабской культуре сохранялись математические знания древнего мира и Индии. Конец Средневековья (XV в.) в арабских странах отмечен

деятельностью Улугбека, который при своем дворе в Самарканде создал обсерваторию, собрал более 100 ученых и организовал долго остававшиеся непревзойденными астрономические наблюдения, вычисление математических таблиц и т.п.

В XVII в. начинается новый период во взаимоотношениях математики и естествознания. Многие отрасли естествознания начинают базироваться на применении экспериментально-математических методов. В результате появляется уверенность в том, что научность (истинность, достоверность) знания определяется степенью его математизации. Так, Г. Галилей утверждал, что книга природы написана на языке математики, а согласно И. Канту, в каждом знании столько истины, сколько есть математики. Логическая стройность, строго дедуктивный характер построений, общеобязательность выводов создали математике славу образца научного знания.

Противоположного мнения о роли математики для раскрытия качественных особенностей придерживался великий писатель, мыслитель и естествоиспытатель И.В. Гёте, который воспринимал неживую природу и все живое (включая человека) как единое целое и придавал большое значение интуиции и опыту. Гёте считал, что световые и другие природные явления должны наблюдаться в их естественном виде, так как эксперимент и количественный анализ мало помогают в понимании подлинной их сущности: он полагал, что эта сущность познается только непосредственным опытом и интуицией.

В XIX в. с резкой критикой экспериментального изучения явлений природы выступил А. Шопенгауэр. Он не только поддерживал подход Гёте, но и вообще отрицал какую-либо пользу от применения математического языка к изучению природы. Даже сами математические доказательства Шопенгауэр называл «мышеловки», считая, что они не дают истинного представления о реальных процессах.

Многие выдающиеся ученые XX в., в особенности физики, говорили о значении математики как важнейшего средства для точного выражения научной мысли. Н. Бор указывал на огромную роль математики в развитии теоретического естествознания и говорил, что математика - это не только наука, но и язык науки. Р. Фейнман отмечал, что математика - это язык плюс мышление, как бы язык и логика вместе. Однако в то же время он считал, что такой науки, как математика, не существует.

Различные варианты тезиса Шопенгауэра о том, что математика не способствует, а затемняет понимание реальных явлений, характерны и для наших дней. Так, иногда противопоставляют объяснение явлений их пониманию, полагая, что количественный язык и методы математики в лучшем случае содействуют объяснению явлений неорганической природы, но не могут дать ничего ценного в понимании процессов культурно-исторической и духовной жизни. При этом понимание рассматривается как чисто интуитивная деятельность мышления, вследствие чего отрицается возможность использовать для его анализа логико-рациональные, в том числе математические, средства исследования. В настоящее время к применению количественного языка математики особенно критически настроены ученые, занимающиеся исследованием сложных биологических, психических и социальных процессов и привыкшие больше доверять опыту и интуиции, чем их математическому анализу.

Математика как специфический язык естествознания

Как бы то ни было, естествознание все шире использует математический аппарат для объяснения природных явлений [21, 29]. Можно выделить несколько направлений математизации естествознания:

- ◇ количественный анализ и количественная формулировка качественно установленных фактов, обобщений и законов конкретных наук;
- ◇ построение математических моделей (об этом несколько позже) и даже создание таких направлений, как математическая физика, математическая биология и т.д.;
- ◇ построение и анализ конкретных научных теорий, в частности их языка.

Рассмотрим математику как специфический язык науки, отличающийся от естественного языка, где, как правило, используют понятия, которые характеризуют определенные качества вещей и явлений (поэтому их часто называют качественными). Именно с этого начинается познание новых предметов и явлений. Следующий шаг в исследовании свойств предметов и явлений - образование сравнительных понятий, когда интенсивность какого-либо свойства отображается с помощью чисел. Наконец, когда интенсивность свойства или величины может быть измерена, т.е. представлена в виде отношения данной величины к однородной величине, взятой в качестве единицы измерения, тогда возникают количественные, или метрические, понятия.

Прогресс в научном познании часто связан с введением именно количественных понятий и созданием количественного языка, которые и исторически, и логически возникают на основе языка качественных описаний. Количественный язык выступает как дальнейшее развитие, уточнение и дополнение обычного, естественного языка, опирающегося на качественные понятия. Таким образом, количественные и качественные методы исследования не исключают, а скорее дополняют друг друга. Известно, что количественные понятия и язык использовались задолго до того, как возникло экспериментальное естествознание. Однако только после появления последнего они начинают применяться вполне сознательно и систематически. Язык количественных понятий наряду с экспериментальным методом исследования впервые успешно использовал Г. Галилей.

Преимущества количественного языка математики в сравнении с естественным языком состоят в следующем:

◇ такой язык весьма краток и точен. Например, чтобы выразить интенсивность какого-либо свойства с помощью обычного языка, нужно несколько десятков прилагательных. Когда же для сравнения или измерения используются числа, процедура упрощается. Построив шкалу для сравнения или выбрав единицу измерения, можно все отношения между величинами перевести на точный язык чисел. С помощью математического языка (формул, уравнений, функций и других понятий) можно гораздо точнее и короче выразить количественные зависимости между самыми разнообразными свойствами и отношениями, характеризующими процессы, которые исследуются в естествознании. С этой целью используются методы математики, начиная от дифференциального и интегрального исчисления и кончая современным функциональным анализом;

◇ опираясь на крайне важные для познания законы науки, которые отображают существенные, повторяющиеся связи предметов и явлений, естествознание объясняет известные факты и предсказывает неизвестные. Здесь математический язык выполняет две функции: с помощью математического языка точно формулируются количественные закономерности, характеризующие исследуемые явления; точная формулировка законов и научных теорий на языке математики дает возможность при получении из них следствий применить богатый математический и логический аппарат.

Все это показывает, что в любом процессе научного познания существует тесная взаимосвязь между языком качественных описаний и количественным математическим языком. Эта взаимосвязь конкретно проявляется в сочетании и взаимодействии естественно-научных и математических методов исследования. Чем лучше мы знаем качественные особенности явлений, тем успешнее можем использовать для их анализа количественные математические методы исследования, а чем более совершенные количественные методы применяются для изучения явлений, тем полнее познаются их качественные особенности.

Математика в естествознании:

◇ играет роль универсального языка, специально предназначенного для лаконичной точной записи различных утверждений. Конечно, все, что можно описать языком математики, поддается выражению на обычном языке, но тогда изъяснение может оказаться чересчур длинным и запутанным;

◇ служит источником моделей, алгоритмических схем для отображения связей, отношений и процессов, составляющих предмет естествознания. С одной стороны, любая математическая схема или модель - это упрощающая идеализация исследуемого объекта или явления, а с другой - упрощение позволяет ясно и однозначно выявить суть объекта или явления.

Поскольку в математических формулах и уравнениях отражены некие общие свойства реального мира, они повторяются в разных его областях. На этом свойстве построен такой своеобразный метод естественно-научного познания, как математическая гипотеза, когда к готовым математическим формам пытаются подобрать конкретное содержание. Для этого в подходящее уравнение из смежных областей науки подставляют величины другой природы, а затем производят проверку на совпадение с характеристиками исследуемого объекта. Эвристические возможности этого метода достаточно велики. Так, с его помощью были описаны основные законы квантовой механики: Э. Шрёдингер, приняв волновую гипотезу движения элементарных частиц, нашел уравнение, которое формально не отличается от уравнения классической физики колебаний нагруженной струны, дал его членам совершенно иную интерпретацию (квантово-механическую). Это позволило Шрёдингеру получить волновой вариант квантовой механики.

Приложение математики к разным отраслям естествознания

Приложения математики весьма разнообразны. По мнению акад. А.Н. Колмогорова, область применения математического метода принципиально не ограничена [13]. В то же время роль и значение математического метода в различных отраслях естествознания неодинаковы. Дело в том, что математические методы применимы для объектов и явлений, обладающих качественной однородностью и вследствие этого количественно и структурно сравнимых. Именно со сложностью выявления качественной однородности групп объектов и явлений связана трудность получения математических формул и уравнений для объектов естествознания. Чем более сложными и качественно различными являются природные объекты и явления, тем труднее их сравнивать количественно, т.е. тем труднее они поддаются математизации.

Математический метод полностью господствует в небесной механике, в частности в учении о движении планет. Имеющий очень простое математическое выражение закон всемирного тяготения почти полностью определяет изучаемый здесь круг явлений. Каждый результат, полученный на основе математического метода, с высокой точностью подтверждается в действительности.

В физике тоже велика роль математического метода. Почти не существует области физики, не требующей употребления развитого математического аппарата. Основная трудность исследования заключается не в применении математической теории, а в выборе предпосылок для математической обработки и в истолковании результатов, полученных математическим путем.

В химии для исследования закономерностей также широко используются математические методы. Это возможно потому, что при всем различии свойств химических элементов все они обладают и общей характеристикой - атомным весом. Сравнение элементов по этому признаку позволило Д.И. Менделееву построить Периодическую систему элементов. На выделении общих свойств химических веществ и соединений обычно и основывается применение математических методов в химии.

В биологических науках и науках о Земле математические методы часто играют подчиненную роль вследствие множества специфических свойств изучаемых здесь систем. Это затрудняет поиски качественной однородности среди них и соответственно математизацию этих наук. Однако и здесь есть высокоматематизированные отрасли, опирающиеся на изучение физических основ природных явлений (геофизика, биофизика и т.д.).

Таким образом, роль математизации в современном естествознании очень велика, и

нередко новая теоретическая интерпретация какого-либо явления в естествознании считается полноценной, если удастся создать математический аппарат, отражающий основные его закономерности. Однако не следует думать, что все естествознание в итоге будет сведено к математике. Построение различных формальных систем, моделей, алгоритмических схем — лишь одна из сторон развития научного знания, а естествознание развивается прежде всего как содержательное знание. Не удастся формализовать сам процесс выдвижения, обоснования и опровержения гипотез, научную интуицию. Глубина объяснения и достоверность предсказания зависят в первую очередь от тех конкретных посылок, на которые они опираются, и математизация не может восполнить пробел в отсутствии такого рода посылок. Знаменитый естествоиспытатель Т. Гексли говорил, что математика, подобно жернову, перемалывает то, что под него засыпают, и, как, засыпав лебеду, вы не получите пшеничной муки, так, исписав целые страницы формулами, вы не получите истины из ложных предположений. А по мнению известного математика акад. Ю.А. Митропольского, применение математики к другим наукам имеет смысл только в единении с глубокой теорией конкретного явления, иначе можно сбиться на простую игру в формулы, за которой нет реального содержания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое естествознание? Какие науки естественно-научного цикла вы знаете?
2. Что такое культура? Что общего и в чем различия между естественно-научной и гуманитарной культурами?
3. Как мотивируют свои воззрения представители сциентизма и антисциентизма? Охарактеризуйте точки зрения каждого направления и выскажите свои соображения на этот счет.
4. Как развивались взаимоотношения между религиозным и научным видами знания? Есть ли у них точки соприкосновения? В чем противоречия между этими видами знания?
5. Что такое естествознание с точки зрения современных теологов?
6. Назовите основные этапы в развитии взаимоотношений естествознания и философии.
7. Что такое натурфилософия и позитивизм? Как они соотносятся?
8. Каковы основные философские основания современного естествознания?
9. Где и почему наиболее тесно переплетаются философское и естественно-научное знания?
10. Назовите возможные основания классификации наук. Почему не удастся построить единую универсальную классификацию?
11. Какие функции выполняет математика в естествознании? Как развивалась математика и какое место она занимала в естествознании в разные исторические эпохи?
12. Каковы основные направления математизации науки? Почему не удастся одинаково хорошо математизировать разные отрасли естествознания?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белик А.П.* Культурология. Антропологические теории культур. М., 1998.
2. *Букановский В.М.* Принципы и основные черты классификации современного естествознания. Пермь, 1960.
3. Введение в культурологию. Воронеж, 1994.
4. *Геттнер А.* География, ее история, сущность и методы. Л.; М., 1930.
5. *Григорьев В.И.* Наука в контексте культуры. М., 1981.
6. *Грядовой Д.И.* Концепции современного естествознания. Структурный курс основ естествознания. М., 2000.
7. *Кедров Б.М.* Классификация наук. М., 1988.
8. *Кедров Б.М.* Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., 1967.
9. Концепции современного естествознания /Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М., 1997.

10. Кузнецов Б.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н. Естествознание. М., 1996.
11. Культурология /Под ред. Г.В. Драча. Ростов н/Д, 1995.
12. Лямин В.С. География и общество. М., 1978.
13. Математический энциклопедический словарь. М., 1988.
14. Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., 1968.
15. Мелюхин С. Т. Материя в ее единстве, бесконечности и развитии. М., 1966.
16. Морис Г. Сотворение мира: научный подход. Калифорния, 1990.
17. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М., 1990.
18. Основы религиоведения / Под ред. И.Н. Яблокова. М., 1998.
19. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М., 1994.
20. Работы Л.А. Уайта по культурологии. М., 1996.
21. Рузавин Г.И. Математизация научного знания. М., 1984.
22. Самойлов Л.Н. Философия. Исторический обзор. М., 1999.
23. Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники. М., 1996.
24. Степин В.С. Философия науки. М., 2003.
25. Степин В.С. Философская антропология и философия науки. М., 1992.
26. Суханов А.Д., Голубева О.Н. Концепции современного естествознания. М., 2000.
27. Фейнберг Е.Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М., 1992.
28. Философия и методология науки / Под ред. В.И. Купцова. М., 1996.
29. Философские проблемы естествознания /Под ред. С.Т. Мелюхина. М., 1985.
30. Философский энциклопедический словарь. М., 1983.
31. Швырев В.С. Научное познание как деятельность. М., 1984.
32. Шикин Е.В., Шикина Г.Е. Гуманитариям о математике. М., 2001.

Глава 2

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ НАУКИ

§ 2.1. Сущность научного знания

Наука и научное знание

Под термином «наука» обычно понимается сфера деятельности людей, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности [17]. В настоящее время наука превратилась в непосредственную производительную силу и в важнейший социальный институт, оказывающий влияние на все сферы жизнедеятельности общества. Сейчас насчитывается более 15 тыс. дисциплин, в научной сфере задействовано свыше 5 млн профессиональных ученых, количество научных журналов исчисляется несколькими сотнями тысяч.

Основным *субъектом науки*, т.е. носителем сознательной целенаправленной деятельности в этой области, являются научные работники, коллективы ученых и вспомогательный персонал. *Объектами науки* принято считать все состояния бытия, которые становятся сферой приложения активности субъекта. Заметим, что объектом науки нередко становятся теоретические конструкции, которым нет непосредственного аналога в природном окружении. Например, в природе нет идеального газа, однако этой конструкцией широко пользуются ученые в конкретных областях естественно-научных исследований. Это существенно отличает науку от обыденного чувственного восприятия действительности.

Упомянем одну особенность науки. Если в искусстве и литературе то или иное произведение настолько тесно связано с автором, его создавшим, что не будь этого автора произведение просто не существовало бы, то в науке положение принципиально иное. Теории И. Ньютона, Ч. Дарвина, А. Эйнштейна и т.д. отражают черты индивидуальности своих создателей, которые сделали гениальные открытия в области естествознания.

Однако эти теории рано или поздно все равно появились бы, поскольку они составляют необходимый этап развития науки. Об этом свидетельствуют факты из истории науки, когда к одним и тем же идеям приходят разные ученые независимо друг от друга.

Основная цель научной деятельности — получение знаний о реальности. Под знанием понимают форму существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека, который в своей деятельности отражает (идеально воспроизводит) объективные закономерные связи реального мира. Термин «знание» употребляется в трех основных смыслах:

1) способности, умения, навыки, которые базируются на осведомленности, как что-либо сделать, осуществить;

2) любая познавательная значимая информация;

3) особая познавательная единица, существующая во взаимосвязи с практикой. Следует заметить, что понятия «истинное знание» и «знание» не совпадают, поскольку последнее может быть недоказанным, непроверенным (гипотезы) или неистинным знанием (заблуждение).

Продуктом научной деятельности выступают не только знания. Для их получения необходимы методы наблюдения и экспериментирования, а также средства, при помощи которых они осуществляются. К продуктам науки следует отнести и научный стиль рациональности, который распространяется на все сферы человеческой деятельности. Наконец, наука представляет собой источник нравственных ценностей, ибо профессия ученого предполагает честность и объективность как элементы профессиональной этики.

Достижения современной техники базируются на фундаментальных научных открытиях и научных исследованиях. Взаимосвязь техники и науки - один из главных факторов научно-технической революции, важнейшее условие научно-технического и социального прогресса. Техника в своих новейших формах (лазерные установки, компьютеры, интернет и т.п.) оказывает сильное влияние на культуру человечества, на психологию и сознание людей, их жизненные и ценностные ориентации, бытовые, профессиональные и многие другие условия их повседневного существования.

Научное знание строится и организуется по определенным законам. Отличительные качества научного знания — систематизированность и обоснованность. Для научной систематизации знания (классификации) характерны стремление к полноте, ясное представление об основаниях систематизации и их непротиворечивости. Здесь многое определяет специфический *научный метод - процедура получения знания, позволяющая впоследствии его воспроизвести, проверить и передать другому.* Элементами научного знания являются факты, закономерности, теории, научные картины мира. Обоснованность, доказательность получаемого знания - характерные признаки научности. Важнейшими способами обоснования эмпирического знания являются проверка наблюдениями и экспериментами, обращение к первоисточникам, статистическим данным. При обосновании теоретических концепций обязательными требованиями, предъявляемыми к ним, выступают их непротиворечивость, соответствие эмпирическим данным, возможность описывать известные явления и предсказывать новые. Обоснование научного знания, приведение его в стройную, единую систему всегда было одним из важнейших факторов развития науки.

Познание как процесс отражения действительности

Процесс отражения и воспроизведения действительности в мышлении субъекта, результатом которого является новое знание о мире, называется познанием. Непосредственные функции научного познания - описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, и это позволяет управлять поведением изучаемых объектов и создавать системы с заранее заданным поведением. Описание заключается в фиксации результатов опыта (эксперимента или наблюдения) с помощью систем обозначения, принятых в науке. В процессе объяснения происходит раскрытие сути

изучаемого объекта через постижение закона, которому подчиняется данный объект. Научное предвидение — это определение и описание на основе научных законов явлений природы и общества, которые не известны в данный момент, но могут возникнуть или быть изучены в будущем. Важнейшей формой научного предвидения является прогнозирование - выработка суждений о состоянии какого-либо объекта или явления в будущем (например, прогноз погоды). Это вероятностное суждение о будущем строится на основе специальных научных исследований и возможно благодаря тому, что мир един, а деление на наблюдаемый и ненаблюдаемый, на изученный и неизученный мир происходит в процессе мышления.

С возрастанием роли науки в жизни общества научное обоснование становится целесообразным и даже необходимым во многих сферах жизни общества, но заметим, что далеко не везде оно возможно и далеко не всегда уместно. Знания приобретаются человеком во всех формах его деятельности — в обыденной жизни, в политике, экономике, искусстве, инженерном деле, однако здесь получение знания не является главной целью. Так, искусство предназначено для создания эстетических ценностей, где на первый план выходит отношение художника к реальности, преломленной через его внутренний мир; экономические реформы оцениваются прежде всего с точки зрения их эффективности и практического результата; продуктом инженерной деятельности является проект, разработка новой технологии, изобретение, которые оцениваются с позиции их практической пользы, оптимального использования ресурсов, расширения возможностей преобразования реальности.

Одна из конечных целей научного познания - быть воплощенным на практике, т.е. в целенаправленной деятельности людей по освоению и преобразованию действительности. Часто эта деятельность связана с развитием *техники - совокупности искусственных органов, средств (прежде всего орудий труда), предназначенных для усиления и расширения возможностей человека по преобразованию природы и использования в этом процессе ее сил и закономерностей*. Основное назначение техники - облегчение и повышение эффективности трудовых усилий человека, освобождение его от работы в опасных условиях, улучшение его жизни в целом.

Познание действительности происходит в трех основных формах - чувственной, рациональной и иррациональной. *Чувственное познание* включает ощущение, восприятие и представление - помощью ощущений в сознании человека происходит отражение отдельных свойств внешних предметов и внутренних состояний организма при непосредственном воздействии материальных раздражителей. Восприятие отвечает за отражение в сознании человека внешних предметов и ориентации в окружающем мире. **Представления** - возникающие в сознании человека образы предметов и явлений внешнего мира или их свойств, которые человек когда-то воспринимал или ощущал.

Рациональные формы познания можно свести к понятиям, суждениям и умозаключениям. **Понятия** — это форма мышления, отражающая предметы в их существенных признаках. Формы мышления, в которых человек выражает вещь в ее связях и отношениях, называются суждением. Под умозаключением понимается такая форма мышления, посредством которой из одного или нескольких суждений выводится новое суждение.

Среди *иррациональных форм познания* особое значение для науки имеет интуиция - постижение истины путем непосредственного ее усмотрения без обоснования с помощью доказательства. Иными словами, интуиция может быть определена как субъективная способность выходить за пределы опыта путем мысленного «озарения» или обобщения в образной форме непознанных связей, закономерностей.

Еще на заре истории человечества существовало обыденно-практическое познание, поставившее элементарные сведения о природе, о самих людях, условиях их жизни, общении, социальных связях и т.п. Основой такого познания был опыт повседневной жизни, практики людей. При этом большое значение имело мифологическое познание. В

рамках мифологии вырабатывались определенные знания о природе, космосе, о самих людях и т.д.

Мифология - основа художественно-образной формы познания, которая в дальнейшем получила развитое выражение в искусстве, хотя оно не решает познавательные задачи, но содержит в себе достаточно мощный познавательный потенциал. Одной из исторически первых форм познания является религиозное познание. Особенности его определяются тем, что оно обусловлено непосредственной эмоциональной формой отношения людей к господствующим над ними земными силами (природными и социальными).

Критерии отграничения научного знания

Важной проблемой является определение научности знания и отграничения его от других видов знания. Повторим, что понятие «истинное» не эквивалентно понятию «научное». Существует совокупность критериев научности, используя которые можно отличить научное знание от ненаучного. Так, современные физики не обсуждают возможность построения вечного двигателя, а астрономы не относятся всерьез к работам по астрологии. Вместе с тем в теоретических журналах публикуется множество статей, где представлены научные гипотезы - предположительное суждение о связи явлений.

Методология науки для целей отграничения научного знания от ненаучного использует несколько принципов [15]. Наиболее часто говорят о трех из них - рациональности, верификации и фальсификации. *Принцип рациональности* является основным средством обоснованности знания; он как бы ориентирует исследователя на определенные нормы и идеалы научности, а также эталоны знаний.

Согласно *принципу верификации*, некое понятие или суждение имеет значение, если оно сводимо к непосредственному опыту или высказыванию о нем, т.е. эмпирически проверяемо. Различают непосредственную верификацию, когда происходит прямая проверка утверждений, формулирующих данные наблюдения и эксперимента, и косвенную верификацию, когда устанавливаются логические отношения между косвенно верифицируемыми утверждениями. Использование принципа верификации дает возможность разделить научное и ненаучное знания, но он плохо справляется с поставленной перед ним задачей, если некоторая система представлений построена таким образом, что практически любой наблюдаемый факт можно объяснить в его пользу (религия, идеология, астрология и т.д.).

Принцип фальсификации предложил известный методолог науки XX в. К. Поппер [8]; суть этого принципа в том, что критерием научного статуса теории является ее фальсифицируемость, или опровержимость, т.е. знание приобретает уровень научного только в том случае, если оно в принципе опровержимо. По представлениям Поппера, эксперименты, направленные на попытку опровергнуть некую теорию, наиболее эффективно подтверждают ее истинность и научность. Так, если все известные вам вороны имеют темный окрас, то направьте, следуя этому принципу, свои поиски не на отыскание еще одной темной вороны, а поищите среди них белую ворону.

Важность принципа фальсификации обусловлена следующим. Несложно получить подтверждения, или верификации, почти для каждой теории, если искать только подтверждения. По мнению Поппера, каждая «хорошая» научная теория является некоторым запрещением - она «запрещает» появление определенных событий. Чем больше теория запрещает, тем она лучше. Теория, не опровержимая никаким мыслимым событием, является ненаучной; можно сказать, что неопровержимость представляет собой не достоинство теории, а ее порок. Каждая настоящая проверка теории является попыткой ее фальсифицировать (опровергнуть).

Зачастую ненаучное знание пытаются выдать за научное и представляют в наукообразной форме. Сегодня распространено мнение о том, что современная наука консервативна и ограничена, поскольку не признает так называемые нетрадиционные, паранаучные концепции - астрологию, парапсихологию, уфологию и т.д. Эти концепции

появились не в наше время, а сотни и тысячи лет назад, однако до сих пор соответствующие исследования не считаются научными, так как не дали достоверных, научно установленных фактов. А наука не может наделить статусом научности те исследования, которые не являются обоснованными. Широко известно высказывание по этому поводу Ф. Бэкона: «...правильно ответил тот, который, когда ему показали выставленное в храме изображение спасшихся от кораблекрушения принесением обета и при этом добивались ответа, признает ли теперь он могущество богов, спросил в свою очередь: «А где изображение тех, кто погиб после того, как принес обет?» Таково основание почти всех суеверий - в астрологии, в сновидениях, в поверьях, в предсказаниях и т.п. Люди, услаждающие себя подобного рода суеютой, отмечают то событие, которое исполнилось, и без внимания проходят мимо того, которое обмануло, хотя последнее бывает гораздо чаще». Эти паранаучные концепции не приняты научным сообществом, поскольку с точки зрения науки они не пополняют наше знание о действительности.

§ 2.2. Средства и методы науки

Виды средств и методов науки

Естественно-научное познание невозможно без использования соответствующих средств - способов действия и орудий для осуществления какой-либо деятельности. Язык науки является важнейшим *средством изучения природы*. Он характеризуется специфической лексикой, особой стилистикой, определенностью используемых понятий и терминов, стремлением к четкости и однозначности утверждений, строгой логичностью в изложении всего материала, использованием математических методов.

Прогресс научного познания существенно зависит от развития используемых наукой средств наблюдения и экспериментальных установок. Так, создание радиотелескопов стало революционным событием в постижении Космоса, превратив астрономию во всеволновую. Микроскоп открыл человеку новые миры, а современный электронный микроскоп позволяет видеть даже атомы, которые несколько десятилетий назад считались принципиально ненаблюдаемыми и существование которых еще в начале XX в. вызывало сомнение. Физика элементарных частиц не могла бы развиваться без специальных установок, подобных синхротронам.

Для проведения экспериментов и наблюдений сегодня активно используются космические корабли, подводные лодки, различного рода научные станции, специально организованные заповедники. Научные исследования требуют приборов и эталонов, которые позволяют зафиксировать те или иные свойства реальности и дать им количественную и качественную оценку, что предполагает создание специальных средств обработки результатов наблюдения и эксперимента.

Однако основным средством науки, в частности естествознания, были и остаются ее методы. В научном познании истинным должен быть не только его конечный результат (система научных знаний), но и ведущий к нему путь, т.е. *метод* [17]. Естествознание и его отрасли имеют не только свой предмет, но и свою систему методов, обусловленных этим предметом. Под методом в самом широком смысле слова понимают путь исследования. *Методологией* именуется *систему определенных принципов, приемов и операций, применяемых в той или иной сфере деятельности* (в науке, политике, искусстве и т.п.), *а также учение об этой системе*.

Метод — совокупность правил, приемов, способов, норм познания и действия. Это есть система предписаний, принципов, требований, которые ориентируют субъекта в решении конкретной задачи, достижении результата в данной сфере деятельности. Метод организует поиск истины, позволяет экономить силы и время, двигаться к цели кратчайшим путем. *Основная функция метода - регулирование познавательной и иных видов деятельности.* При этом не следует ни недооценивать (или вовсе отвергать) роль метода и методологии в естествознании, ни преувеличивать, абсолютизировать значение

метода как простого и доступного «инструмента» научного открытия.

В естествознании постоянно происходит взаимообмен методами и приемами исследования. Например, во второй половине XX в. полезным оказалось применение методов физики и химии к изучению биологических систем и систем, рассматриваемых в рамках наук о Земле. Однако сущность и специфику последних физическими и химическими методами уловить не удастся. Для этого нужны свои собственные - геологические, биологические, географические и др. - методы и приемы исследования.

Многообразие видов человеческой деятельности обуславливает и многообразие методов. Методы науки могут быть классифицированы по таким основаниям, как содержание изучаемых объектов, роль и место методов в процессе научного познания и т.п. В современной методологии науки наиболее распространена многоуровневая классификация методов познания, согласно которой все методы научного познания по степени общности и сфере действия разделяются на философские, общенаучные, частнонаучные, дисциплинарные методы, а также методы междисциплинарного исследования.

Среди философских методов выделяют диалектический и метафизический, а также аналитический, интуитивистский, феноменологический, герменевтический и др. Общенаучные подходы и методы - системный и структурно-функциональный, кибернетический, вероятностный, моделирование, формализация, синергетический подход и др. - получили широкое развитие в науке XX в., выступая в качестве промежуточной методологии между философскими и фундаментальными принципами специальных наук. Частнонаучные методы - это совокупность способов, принципов познания, исследовательских приемов и процедур, применяемых в той или иной отрасли науки: методы механики, физики, химии, биологии и т.д. Дисциплинарные методы - система приемов, применяемых в той или иной научной дисциплине, входящей в какую-нибудь отрасль науки или возникшей на стыке наук.

Методы междисциплинарного исследования - совокупность ряда синтетических, возникших в результате сочетания элементов различных уровней методологии; они нацелены главным образом на стыки научных дисциплин. Кроме того, в науке на разных ее уровнях широко применяются такие методы и приемы, как наблюдение, эксперимент, сравнение, анализ и синтез, индукция и дедукция, абстрагирование, идеализация, аналогия и др.

Таким образом, в научном познании функционирует сложная, динамичная, целостная, субординированная система методов разных уровней, сфер действия, направленности и т.п., которые используются с учетом конкретных условий. При этом для современной науки все более характерным становится методологический плюрализм -- стремление применять самые разнообразные принципы и приемы исследования в их сочетании и взаимодействии.

Характеристика основных методов науки

Рассмотрим основные методы, используемые в науке. *Диалектика - учение о наиболее общих законах развития природы, общества и познания и основанный на этом учении метод мышления и действия.* В истории философии известны три основные формы диалектики: античная, идеалистическая (немецкая) и материалистическая. Выдвигались различные толкования диалектики: как учения о вечном становлении и изменчивости бытия (Гераклит); искусства диалога, достижения истины путем противоборства мнений (Сократ); метода расчленения и связывания понятий с целью постижения сверхчувственной (идеальной) сущности вещей (Платон); учения о совпадении (единстве) противоположностей (Николай Кузанский, Дж. Бруно); способа разрушения иллюзий человеческого разума, который, стремясь к цельному и абсолютному знанию, неминуемо запутывается в противоречиях (И. Кант); всеобщего метода постижения противоречий (внутренних импульсов) развития бытия, духа и истории (Г.В.Ф. Гегель); учения и метода,

выдвигаемых в качестве основы познания действительности и ее революционного преобразования (К. Маркс, Ф. Энгельс, В.И. Ленин). Диалектическая традиция в русской философии XIX-XX вв. нашла воплощение в учениях В.С. Соловьева, П.А. Флоренского, С.Н. Булгакова, Н.А. Бердяева и Л. Шестова. В западной философии XX в. диалектика развивалась преимущественно - в русле неогегельянства, экзистенциализма, различных течений религиозной философии.

Метафизика (букв, «после физики») употребляется в трех основных значениях: 1) как синоним философии; 2) как синоним особой философской науки - онтологии, т.е. учения о бытии как таковом, независимо от его частных видов и в отвлечении от вопросов логики и теории познания; 3) *философский метод познания, мышления, противостоящий диалектическому методу как своему антитепу*.

Самая характерная, существенная черта метафизики как метода - абсолютизация того или иного элемента целого, момента деятельности в любой ее форме. Метафизика (как и диалектика) никогда не была чем-то раз и навсегда данным, она изменялась, выступала в различных исторических формах. Специфика метафизики, характерной для философии и науки XVII-XIX вв., - в отрицании всеобщей связи и развития явлений. Этот метод мышления имел объективную основу своего появления — необходимость исследования предметов в их неизменности, устойчивости, вне связи с другими, чем и занималась наука того времени. Исторически вторая форма метафизики не отвергает всеобщую связь явлений, их развитие, но абсолютизирует какой-либо один аспект. Метафизический способ мышления вполне правомерен и необходим везде, где не требуется рассматривать предмет в развитии и во всех его взаимосвязях.

Абстрагирование - *мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и одновременное выделение, фиксирование одной или нескольких интересующих исследователя сторон этих предметов*. Известно несколько способов абстрагирования. Абстрагирование отождествления происходит посредством образования понятий через объединение их в особый класс, т.е. путем отождествления предметов, связанных отношениями типа равенства. Изолирующая абстракция - выделение свойств и отношений, неразрывно связанных с предметами, и обозначение их определенными «именами», что придает таким абстракциям статус самостоятельных предметов (например, «белизна», «устойчивость» и т.д.). Абстракция конструктивизации ведет к отвлечению от неопределимости, «зыбкости» границ реальных объектов, «огрублению» действительности и позволяет сформулировать по отношению к этой огрубленной действительности некоторые законы, понять ее «в первом приближении», с тем чтобы двинуться в познании дальше и глубже. Абстракция актуальной бесконечности используется для отвлечения незавершенности процесса образования бесконечного множества, от невозможности задать его полным списком всех элементов; такое множество просто рассматривается как данное, как существующее. Абстракция потенциальной осуществимости подразумевает отвлечение от реальных границ человеческих возможностей, обусловленных ограниченностью человеческой жизни в пространстве и во времени. Переход на более высокую ступень абстракции путем выявления общих признаков (свойств, отношений, тенденций развития и т.п.) именуется *обобщением* и влечет за собой появление новых научных понятий, законов, теорий.

Анализ - *метод познания, содержанием которого является совокупность приемов и закономерностей расчленения предметов исследования на составные его части*. Прямой, или эмпирический, анализ применяется на этапе поверхностного ознакомления с объектом исследования и дает возможность познать явление, однако недостаточен для проникновения в сущность явлений. Возвратный, или элементарно-теоретический, анализ применяется для постижения сущности исследуемого объекта, позволяя познать причинно-следственные связи и закономерности. Структурно-генетический анализ применяется для выявления в сложном явлении таких элементов, которые представляют самое главное в них, некую элементарную единицу, оказывающую решающее влияние на

все остальные стороны сущности объекта. Анализу противопоставляется *синтез* — *метод познания, содержанием которого является совокупность приемов и закономерностей соединения отдельных частей предмета в единое целое*. Выделяют виды синтеза, аналогичные видам анализа, о которых было сказано выше.

Говоря о степени универсальности методов и области их применения, отметим, что существуют:

◇ методы мышления (теоретические методы), содержащие правила, следуя которым можно получить научное знание;

◇ методы эмпирического исследования — правила наблюдений, экспериментов и т.д.;

◇ методы, которые используются как на эмпирическом, так и на теоретическом уровне исследования.

При выборе того или иного метода исследования необходимо выяснить степень его соответствия следующим критериям, сложившимся в науке: эффективность, простота и надежность, научность, допустимость, экономичность и безопасность. Это позволит оптимизировать процесс познания и получить достоверные знания наиболее простым путем.

Таким образом, средства и методы, используемые в различных отраслях естествознания, не одинаковы. Для каждой отрасли характерны свой особый язык, своя система понятий, своя стилистика и степень строгости рассуждений. Но отрасли естествознания развиваются не изолированно друг от друга, поэтому происходит постоянное взаимопроникновение методов и средств и развитие конкретной отрасли происходит не только за счет выработанных в ней приемов, методов и средств познания, но и за счет постоянного заимствования, но не следует ожидать универсализации методов и средств, используемых в естествознании. Разные отрасли естествознания обладают несомненной спецификой и особенностями своих предметных областей, и, как следствие, различные познавательные задачи будут и в будущем стимулировать появление специфических средств и методов.

§ 2.3. Структура и уровни научного знания

Структура научного знания

В самом простом виде структуру научного знания можно представить в виде следующего ряда: фактический материал; первоначальные обобщения в понятиях и других абстракциях; научные предположения (гипотезы); законы, принципы и теории; философские установки; методы, идеалы и нормы научного познания; социокультурные основания; стиль мышления.

Научное знание можно структурировать и по степени обобщенности материала. Наиболее общую систему научных теорий называют научной картиной мира. *Научная картина мира - это целостная система представлений об общих свойствах и закономерностях природы, результат обобщения и синтеза основных научных понятий, принципов, методологических установок*. Различают общенаучную картину мира, картины мира наук, близких по предмету исследования (например, естественно-научная картина мира), картины мира отдельных наук (физическая, биологическая, географическая и др.) [17].

В структуре научной картины мира выделяют понятийную и чувственно-образную составляющие. Чувственно-образная составляющая - это совокупность наглядных представлений о тех или иных объектах и их свойствах, например планетарная модель атома, образ Метагалактики в виде расширяющейся сферы и др. Понятийная составляющая представлена философскими категориями (например, «материя», «движение», «пространство», «время» и др.) и принципами (принцип материального единства мира, всеобщей связи и взаимообусловленности явлений, детерминизма и др.), общенаучными понятиями и законами (например, закон сохранения и превращения

энергии), а также фундаментальными понятиями отдельных наук («поле», «вещество», «Вселенная», «биологический вид», «популяция» и др.).

В научную картину мира нецелесообразно включать всю информацию, добытую наукой о различных веществах, свойствах растений и животных, природных и синтетических материалах, технологических процессах, производственных делах, биографических сведениях и т.п. Научная картина мира отличается от научной теории сочетанием абстрактно-теоретических знаний и наглядных представлений, модельных образов. Если картина мира отражает объект, отвлекаясь от процесса получения знания, то теория содержит в себе не только знания об объекте, но и логические средства проверки их истинности. Научная картина мира играет эвристическую роль в процессе построения научных теорий.

Научная картина мира может быть представлена в виде суммы частных картин мира (физической, биологической, географической и т.д.), которые в свою очередь включают соответствующие *концепции* - определенные способы понимания, трактовки какого-либо предмета, явления, процесса. Научные картины мира и концепции складываются из научных фактов, гипотез, проблем, принципов, законов, теорий и т.д. *Научные факты* — это факты, установленные путем наблюдения или экспериментов. *Гипотеза* - вид знания предположительного характера, истинность или ложность которого еще предстоит доказать. *Научная проблема* — осознанные вопросы, для ответа на которые недостаточно имеющихся знаний. *Научные принципы* - наиболее общие и важные фундаментальные положения теории. *Законы науки* — теоретические утверждения, выражающие существенные связи явлений. *Научная теория* - систематизированные знания в совокупности, объясняющие множество фактов и описывающие посредством системы законов определенный фрагмент реальности.

Уровни научного знания и их соотношение

Научное знание включает в себя два основных взаимосвязанных, но качественно различных уровня - эмпирический и теоретический. Каждый из них выполняет определенные функции и располагает специфическими методами исследования [11, 12, 15, 17].

Фундаментом науки являются твердо установленные факты, полученные эмпирическим, т.е. опытным, путем, например совокупность эмпирических данных, полученных в результате астрономических наблюдений за перемещениями небесных тел. Эмпирические знания являются результатом непосредственного контакта с реальностью в наблюдении или эксперименте. На эмпирическом уровне происходит не только накопление фактов, но и их первичная систематизация и классификация, что позволяет выявлять эмпирические законы и правила, которым подчиняются наблюдаемые явления. На этом уровне исследуемый объект отражается преимущественно в своих внешних связях и проявлениях, в которых выражаются внутренние отношения.

Среди эмпирических методов выделяют несколько основных:

◇ наблюдение - целенаправленное восприятие явлений объективной действительности; необходимо, чтобы наблюдение не вносило какие-либо изменения в изучаемую реальность;

◇ эксперимент - наблюдение за объектами и явлениями в специально созданных и контролируемых условиях, когда изучаемый объект ставится в особые, специфические и варьируемые условия, чтобы выявить его существенные характеристики и возможности их изменения под влиянием внешних факторов;

◇ измерение - выявление количественных характеристик изучаемой реальности. В результате измерения происходит сравнение объектов по каким-либо сходным свойствам или сторонам;

◇ описание - фиксация средствами естественного или искусственного языка сведений об объектах и явлениях;

◇ сравнение - одновременное выявление соотношения и оценка общих для двух или более объектов свойств или признаков.

Информация, полученная в результате применения такого рода процедур, подвергается статистической обработке. При этом источники научной информации и способы ее анализа и обобщения детально описываются, что позволит впоследствии проверить эти результаты.

Закономерности, полученные на эмпирическом уровне, обычно мало что объясняют. Более того, чаще всего они не открывают направлений дальнейшего научного поиска, т.е., как говорят, они малоэвристичны. Поэтому над эмпирическим уровнем науки надстраивается теоретический уровень. Без определенной теоретической установки не может начаться эмпирическое исследование. Теоретический уровень обеспечивает целостное восприятие действительности, в рамках которого многообразные факты укладываются в некоторую единую систему. Сущностью теоретического познания является не только описание и объяснение многообразных фактов и закономерностей, выявленных в процессе эмпирических исследований в определенной предметной области, на основе немногих законов и принципов; она выражается также в стремлении ученых раскрыть гармонию мироздания.

Теоретический уровень подразумевает использование таких *методов познания*, как формализация, когда происходит построение абстрактных моделей, раскрывающих сущность изучаемых процессов действительности; аксиоматизация, с помощью которой строят теории на основе аксиом - утверждений, доказательства истинности которых не требуется; гипотетико-дедуктивный метод, в рамках которого создаются системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых выводятся утверждения об эмпирических фактах.

К числу *основных компонентов* теоретического уровня знания относятся проблема, гипотеза и теория. Проблема - форма знания, содержанием которого является то, что еще не познано, но что нужно познать, т.е. это знание о незнании, вопрос, возникший в ходе познания и требующий ответа; проблема включает два основных этапа движения познания - постановку и решение. Гипотеза - это знание в форме предположения, сформулированного на основе ряда фактов. Гипотетическое знание носит вероятностный, а не достоверный характер и требует проверки, обоснования. В результате доказательства одни из выдвинутых гипотез становятся теорией, другие видоизменяются, уточняются и конкретизируются, третьи отбрасываются как заблуждения, если проверка дает отрицательный результат. Решающей проверкой истинности гипотезы является практика во всех своих формах, а вспомогательную роль играет логический (теоретический) критерий истины.

Наиболее развитой формой научного знания является теория- знание, дающее целостное отображение закономерных и существенных связей в определенной области действительности. Теория строится для целей объяснения объективной реальности. Главная задача теории заключается в том, чтобы описать, систематизировать и объяснить все множество данных эмпирического уровня. При этом следует иметь в виду, что теория описывает непосредственно не окружающую действительность, а идеальные объекты, которые в отличие от реальных характеризуются не бесконечным, а вполне определенным количеством свойств. Так, механика описывает не реальные процессы, с которыми человек имеет дело в действительности, а процессы, относящиеся к идеальным объектам, например материальным точкам, которые описываются очень небольшим количеством свойств, а именно массой и возможностью находиться в пространстве и во времени.

Помимо идеальных объектов в теории задаются взаимоотношения между ними, которые описываются законами. Кроме того, из первичных идеальных объектов можно конструировать производные объекты. В итоге теория, которая описывает свойства идеальных объектов, взаимоотношения между ними, а также свойства конструкций, образованных из первичных идеальных объектов, способна описать все то многообразие

данных, которые получены на эмпирическом уровне. Для этого на основе исходных идеальных объектов строится теоретическая модель конкретного явления и предполагается, что эта модель в существенных своих сторонах, в определенных отношениях соответствует тому, что есть в действительности.

Теоретический уровень знания обычно расчленяется на две составляющие - фундаментальные теории и теории, которые описывают конкретную область реальности, базирясь на этих фундаментальных теориях. Так, механика описывает материальные точки и взаимоотношения между ними, а на основе ее принципов строятся различные конкретные теории, описывающие те или иные области реальности. Например, для описания поведения небесных тел строится небесная механика в предположении, что Солнце - центральное тело, обладающее большой массой, а планеты - материальные точки, движущиеся вокруг центрального тела по законам механики и закону всемирного тяготения.

Роль теории в науке, в частности в естествознании, определяется тем, что здесь объект умственно контролируется, поэтому, вообще говоря, теоретический объект можно описать как угодно детально и получить в принципе как угодно далекие следствия из теоретических представлений. Если исходные абстракции верны, можно быть уверенным, что и следствия из них будут верны. Сила теории состоит в том, что она может развиваться без прямого контакта с действительностью, но при условии, что исходные принципы соотносятся с действительностью.

Научная теория — это развивающаяся система знания (включающая и элементы заблуждения), которая имеет сложную структуру:

- ◇ исходные основания (первичные фундаментальные понятия, принципы, законы, постулаты, аксиомы и т.п.);

- ◇ идеализированный объект данной теории - абстрактная модель существенных свойств и связей изучаемых предметов (например, идеальный газ);

- ◇ логика теории, нацеленная на прояснение структуры и развитие знания, содержащая определенные правила вывода и способы доказательства;

- ◇ совокупность законов и утверждений, выведенных из основных положений теории;

- ◇ философско-методологические установки и ценностные факторы.

Любая теория выполняет большое количество *функций*. Назовем основные из них. Синтетическая функция объединяет отдельные научные знания в единую систему. Объяснительная функция выявляет причинные и иные связи конкретного явления, его существенные характеристики, законы его происхождения и развития. Методологическая функция отвечает за разработку на базе теории разнообразных методов, способов и приемов исследовательской деятельности. Предсказательная функция, или функция предвидения, формулирует представления о неизвестных ранее фактах, объектах и их свойствах или о тех, о существовании которых известно, но они пока еще не выявлены. Практическая функция заключается в стремлении теории быть воплощенной в практику, стать инструментом изменения действительности.

Теории излагаются различными способами:

- ◇ аксиоматическое построение теорий, когда научная теория строится в виде системы аксиом (постулатов) и правил вывода (аксиоматики), позволяющих путем логических выводов получать утверждения (теоремы) данной теории;

- ◇ генетическое построение, когда предмет вводится постепенно и последовательно раскрывается от простейших до все более и более сложных аспектов.

Теории возникают во взаимодействии теоретического и эмпирического уровней познания реальности на основе, например, процедур моделирования реальных процессов, когда на базе анализа построенных моделей выводятся проверяемые эмпирически следствия, и мысленных экспериментов, в которых теоретик «прогоняет» возможные варианты поведения идеализированных объектов. Развитием этого метода теоретического мышления, который впервые применил Г. Галилей, является математический эксперимент,

когда возможные последствия варьирования условий в математической модели просчитываются на современных компьютерах.

Особо следует подчеркнуть, что граница между эмпирическим и теоретическим уровнями условна и подвижна: теоретический уровень опирается на данные эмпирического уровня, а эмпирическое знание не свободно от теоретических представлений, оно обязательно погружено в определенный теоретический контекст. Например, на экспериментальной фотографии, сделанной в магнитном поле, появились спиральные линии. Из теории известно, что в магнитном поле заряженные частицы движутся по спирали, причем электроны - в одну сторону, а позитроны - в другую, поэтому делается вывод, что на фотографии - след движущегося электрона или позитрона. Если теоретических представлений в исследуемой области нет, эти траектории ничего не скажут. Таким образом, не следует абсолютизировать один уровень в ущерб другому, сводя все научное знание в целом к эмпирическому его уровню либо игнорируя эмпирические данные.

Когда для адекватного описания некоторой области знания недостаточно эмпирического и теоретического уровней, выделяют уровень философских предпосылок, содержащий общие представления о действительности и процессе познания. Существует немало естественно-научных теорий, которые не вызывают споров по поводу их философских оснований, поскольку они близки к общепринятым и поэтому не выступают предметом специального анализа, а воспринимаются как нечто само собой разумеющееся. Однако это случается далеко не всегда. Так, философские дискуссии до настоящего времени ведутся по проблемам интерпретации математического аппарата в квантовой механике, относительно различных аспектов учения об эволюции живой природы и т.п.

Индуктивный и рационалистический пути познания

Метод исследования или сочетание методов в каждом конкретном случае выбирается индивидуально. Однако существуют два генеральных пути познания, которые были сформулированы еще в XVII в. [15].

В основе предложенного Ф. Бэконом эмпирического, или индуктивного, метода лежит индукция — способ рассуждения, при котором общий вывод делается на основе обобщения частных посылок. В эмпирической программе заложена идея о том, что практическое знание о мире можно получить только из опыта, т.е. на основе наблюдений и эксперимента. По мысли Бэкона, движение от частных случаев ко все более широким обобщениям является единственно возможным путем познания природы.

Рационалистическую программу научного исследования предложил Р. Декарт. По его представлениям, основу исследования должны составлять интуиция и дедукция: интуиция позволяет выделить в реальности простые и самоочевидные истины, а на основании дедукции (движения познания от общего к частному) из простых истин можно вывести достаточно сложные знания.

Индуктивная модель научного познания была очень популярна. Кажется вполне понятным, что научное познание действительности осуществляется только тогда, когда имеется возможность ее наблюдать, экспериментировать с ней; такое представление о научном познании соответствует даже современному здравому смыслу. Однако против универсальности индуктивных обобщений выдвигается ряд существенных доводов. Во-первых, индукция не может приводить к универсальным суждениям, в которых выражаются закономерности; конечно, в опыте можно зафиксировать какую-то повторяемость, однако она не обязательно сохранится за пределами непосредственно наблюдаемого.

Во-вторых, любые эмпирические исследования предполагают наличие теоретических установок, без которых они просто неосуществимы. Дело в том, что невозможно осуществить и даже придумать такой опыт, который не определялся бы какими-то теоретическими представлениями. Без теоретической установки не может возникнуть

даже идея эксперимента. В истории науки известны фундаментальные теоретические результаты, которые были получены без непосредственного обращения к эмпирическому материалу. Например, не существовало никаких особых фактов, которые могли бы послужить А. Эйнштейну для создания общей теории относительности, а специальная теория относительности была создана при рассмотрении теоретической проблемы, связанной с истолкованием природы пространства-времени и места пространственно-временных представлений в структуре научного знания.

Против рационалистической модели научного познания также имеются возражения. Конечно, в современном теоретическом мышлении огромна роль дедукции и интуиции. Однако эти принципы далеко не очевидны. Так, Н. Лобачевский, заменив пятый постулат Евклида, согласно которому через точку, лежащую вне данной прямой можно провести прямую, параллельную данной, и притом только одну, построил неевклидову геометрию, где через точку, лежащую вне данной прямой, можно провести по крайней мере две прямые, параллельные данной. Такое утверждение никак нельзя назвать очевидным. То же можно сказать об основаниях квантовой механики, о теории относительности, современной космологической теории Большого взрыва.

Кроме того, и индуктивная, и дедуктивная программы исследований предполагают, что в науке не может содержаться вероятностное знание. Однако развитие науки продемонстрировало эффективность использования вероятностных представлений практически во всех областях науки. Их значимость настолько велика, что иногда даже говорят о вероятностной картине мира. Образцами такого рода теорий являются квантовая механика, генетика, теория эволюции, теория информации.

Таким образом, научное исследование - это сложное сочетание и взаимопереплетение индуктивного и дедуктивного методов с включением в конкретные программы тех или иных вероятностных суждений о наблюдаемых явлениях.

Проблема построения единой теории

Затронем еще одну проблему - проблему принципиальной невозможности построения некой единой теории, которая охватывала бы фундаментальные принципы всей предметной области естествознания и на базе которой все остальные теории этой области выступали как частные случаи [15]. Такими стремлениями отмечена история практически всех областей науки. Так, до конца XIX в. все физики были убеждены, что единой физической теорией может служить механика, но потом выяснилось, что это невозможно. Позднее в качестве единой теории попытались использовать электродинамику, однако выяснилось, что существующие виды взаимодействий - электромагнитные, слабые и сильные, гравитационные - трудно объединить в одной теории.

Попытки создания единой теории основываются на том, что универсальные принципы, критерии научности отделяют науку от других сфер человеческой культуры, деятельности и тем самым объединяют различные области знания. Но в то же время каждая из них обладает своей спецификой, разъединяющей их в пределах науки, и объекты, описываемые в разных науках, значительно отличаются друг от друга. Сомнительно, что физические, химические, биологические, географические, геологические и другие явления могут описываться на основании одних и тех же принципов.

Научная теория - это система абстракций, при помощи которых раскрывается субординация свойств действительности, т.е. теория дает какой-то срез действительности. Однако ни одна система абстракций не может охватить все богатство действительности. Поэтому должны существовать различные системы абстракций, которые нередуцируемы (несводимы) друг к другу, определенным образом соотносятся друг с другом, но не перекрывают друг друга. Следовательно, любая научная дисциплина, как бы велики ни были успехи в интеграции охватываемых ею знаний, состоит из нескольких научных областей, специфика которых отображается относительно замкнутыми системами понятий, представляющими собой теории, которые в свою очередь объединяют вокруг

себя соответствующий эмпирический материал.

§ 2.4. Этические проблемы в науке

Наука как социальный институт

Наука - социальное явление. Она создается сообществом ученых и представляет собой не только отношение ученого к познаваемой им действительности, но и определенную систему взаимосвязей между членами научного сообщества. В науке существует свой специфический образ жизни, регулируемый системой, как правило, неписаных, но передаваемых по традиции норм, своя система ценностей [15]. В настоящее время растет внимание исследователей к социальным, человеческим, гуманистическим аспектам науки, складывается особая дисциплина - *этика науки - совокупность моральных норм, нравственных и ценностных принципов, принятых учеными и определяющих их поведение в научном сообществе.*

Наука возникает, существует и развивается в обществе, представляя собой один из важнейших социальных институтов. Социальный институт - это специфическая сфера упорядоченных отношений между людьми, а также устойчивой организации их деятельности. Эта упорядоченность и организованность достигается путем нормативно-ценностного регулирования межличностных взаимодействий. Внутреннее устройство социального института определяется системой норм и ценностей, в связи с чем людям, вступающим в контакт в рамках социального института, нет надобности всякий раз договариваться о том, на каких условиях они будут взаимодействовать между собой. Система норм очерчивает круг допустимого, возможного, приемлемость поведения в рамках социального института. Система ценностей определяет, что является должным, т.е. во имя чего люди следуют принятым нормам и вообще действуют.

Каждый социальный институт располагает механизмами внешнего контроля за поведением и действиями людей, а именно набором позитивных и негативных санкций, которыми поощряется ожидаемое поведение и наказывается отклоняющееся. Если говорить о социальном институте науки, то здесь главной позитивной санкцией является признание коллег, как современных, так и ученых последующих поколений. Признание может выражаться в разных формах - от цитирования в научных трудах до увенчания престижной научной премией (например, Нобелевской) и даже до увековечения имени ученого в названии закона или теории: законы механики И. Ньютона, Периодическая система элементов Д.И. Менделеева, теория относительности А. Эйнштейна и т.п. Того, кто допускает отклонение от принятых в науке норм (фальсификация результатов эксперимента, приписывание себе чужих достижений, плагиат - воспроизведение того, что сделано другими, без ссылки на них), ожидают негативные санкции - игнорирование научным сообществом того, что делает данный ученый, а если в научной литературе нет упоминаний - цитат или ссылок на работы, то это значит, что для науки он попросту не существует.

Эти механизмы нормативного контроля не всегда срабатывают должным образом. С одной стороны, коллеги-современники подчас не обладают достаточной компетенцией для того, чтобы правильно оценить новый, революционный результат, а с другой - признание, пусть временное, иногда получают идеи, не имеющие должного обоснования и не заслуживающие признания.

Наряду с внешним нормативным контролем действует и внутренний контроль, когда нормативные ожидания становятся достоянием личности, превращаются в мотивы действия, определяемого не извне, не страхом наказания или стремлением к вознаграждению, а побуждением и желанием, идущим изнутри личности.

Зарождение науки как социального института принято относить к Западной Европе XVI-XVII вв. Процесс институционализации науки включает в себя два аспекта: формируется социальный институт науки со специфической системой ценностей и норм;

устанавливается соответствие между этой системой и нормативно-ценностной системой, характерной для общества в целом, для всей сети социальных институтов. Но как показывает исторический опыт, это соответствие никогда не было полным и отношения между наукой и обществом всегда были более или менее напряженными. Это выражается, например, в том, что господствующие в обществе ценности не позволяют развивать некоторые направления исследований, осуществимые с точки зрения имеющихся у ученых возможностей, знаний, средств и методов. Так, довольно долго ценности общества препятствовали использованию такого средства изучения анатомии человека (при подготовке врачей), как вскрытие трупов; лишь в XVI в. А. Везалий стал проводить вскрытия. А два столетия спустя вскрытие трупов превратилось в модное занятие, производились даже частные вскрытия, более того, некоторые семьи использовали трупы своих умерших для собственного просвещения или удовлетворения любопытства.

В общем случае взаимоотношения между обществом и социальным институтом науки можно представить как взаимообмен. От науки общество получает прежде всего научные знания, которые участвуют в формировании культуры и мировоззрения людей, открывают новые промышленные, сельскохозяйственные, медицинские технологии, новые источники сырья и энергии, средства связи и транспорта, даже новые сферы человеческой деятельности. Особый вид знаний, вырабатываемых наукой и важных для общества, - знания о путях и методах использования научных знаний в практических целях. Кроме того, ученые, занимаясь преподаванием, не только обеспечивают процесс воспроизводства науки, но и формируют интеллектуальный потенциал общества. Высокая квалификация и опыт ученых позволяют выступать им в роли экспертов при подготовке и реализации различных проектов: социальных, экономических, культурных, политических и т.п.

Наука получает поддержку со стороны общества, в свою очередь давая обществу то, что общество считает важным, полезным и даже необходимым. При этом общественная поддержка науки осуществляется в разных формах. Наука получает ресурсы, нужные для своего воспроизводства и развития: финансовые; материальные (земля, здания, оборудование, материалы, энергия); интеллектуальные и такой важный ресурс, как общественный статус, престиж науки, убеждение общества и государства в том, что занятия наукой полезны, т.е. общество должно верить в ценность науки как таковой.'

Идеалы и ценности науки

Воспроизводство научного сообщества, т.е. подготовка новых поколений ученых, связано не только с передачей определенной суммы знаний и умений, но и с усвоением ими идеалов и ценностей науки. Возможны два способа преемственности в усвоении принципов нормативно-ценностной системы [15]. Во-первых, идеалы и ценности зафиксированы в виде некоторого устного или письменного кодекса и новый член сообщества, удостоверив свою приверженность основополагающим идеалам и ценностям, получает право самостоятельно заниматься соответствующим видом деятельности. Например, каждый выпускник медицинского вуза должен дать «клятву Гиппократата», чтобы получить право заниматься профессиональной деятельностью.

Во-вторых, в ходе неформального личностного общения учитель своим поведением демонстрирует образцы следования ценностям и нормам научного сообщества, которые непосредственно усваивает ученик. Сходную роль играет обращение в процессе преподавания к конкретным эпизодам из истории науки, повествующим об образцах поведения лидеров научного сообщества в критических ситуациях.

Но выбор этих исторических образцов во многом определяется существующими в данное время нормами и ценностями. В качестве примера рассмотрим два высказывания И. Ньютона. В одном из них Ньютон говорит о том, что всеми своими достижениями он обязан тому, что он стоял на «плечах гигантов» — своих предшественников. Здесь зафиксирована необходимость с должным уважением относиться к творцам науки' прошлого и опираться в своей деятельности на полученные ими результаты. Эта норма

сохраняется в науке по сей день. Другое высказывание Ньютона — «гипотез не измышляю» - фиксирует норму научной деятельности, требующую руководствоваться не спекулятивными умозрениями, а достоверными фактами. Многие поколения ученых стремились следовать этой норме. Однако в XX в. она была поставлена под сомнение, а популярным стало высказывание Н. Бора о том, что для прогресса физики необходимы «сумасшедшие» идеи, позволяющие по-новому осмыслить и связать имеющиеся в распоряжении ученых факты. В таком случае «измышление гипотез» должно быть реабилитировано, хотя все же не отменяется необходимость искать фактическое подтверждение идей и гипотез.

. Жизнь науки — постоянная борьба различных мнений, направлений, борьба за признание работ, идей ученого, а также борьба за приоритет в полученном результате. Нормативно - ценностная система научного сообщества не только допускает, но и стимулирует конкуренцию между учеными, благодаря чему достигается прогресс научного познания. Эта система устанавливает и правила честной конкурентной борьбы, обеспечивая единство научного сообщества, поскольку каждый ученый может реализовать свои научные интересы лишь в рамках научного сообщества, что побуждает его относиться с уважением к коллегам.

Ученый, научное сообщество, общество

В мировом научном сообществе можно выделить национальные научные сообщества, существующие и действующие в пределах того или иного государства, и дисциплинарные научные сообщества, ограниченные рамками конкретной области знания. Каждое из них имеет своих лидеров и свою нормативно-ценностную систему, которая включает основное содержание всеобщей нормативно-ценностной системы, но вместе с тем обладает собственными специфическими чертами.

Национальное научное сообщество реализует не только ценности и нормы науки в целом, но и те ценности, которые являются господствующими в данной стране, и при выборе перспективных и приоритетных направлений научных исследований будет руководствоваться не только интересами мировой науки, но и тем, какие из них потенциально проще осуществить в своей стране и более важны для нее, а в определенной мере и специфическими научными интересами своих лидеров, которые уже продемонстрировали способность получать весомые научные результаты.

Дисциплинарное научное сообщество носит интернациональный характер. Можно говорить, например, о сообществе физиков, геологов, биологов и т.д. Всякое дисциплинарное сообщество характеризуется приверженностью всех его членов к ценностям и методам науки как таковой, а также особым видением проблем, стоящих перед данной отраслью знания, перспективных направлений исследований, наиболее эффективных путей и средств решения научных задач.

При этом каждый ученый является членом нескольких научных сообществ, что может стать источником конфликтов; например, могут вступить в противоречие требование быть лояльным к ценностям и нормам интернационального сообщества ученых и одновременно к национальным ценностям и нормам. В такой ситуации оказались, в частности, многие физики-ядерщики во время Второй мировой войны, когда стало реальным создание оружия огромной разрушительной силы.

Научное сообщество - форма организации совместной деятельности ученых, которая позволяет каждому из них реализовать свои интересы таким образом, чтобы не вступать при этом в неразрешимые конфликты с коллегами. Регулирующие эти взаимоотношения ценности вырабатываются и поддерживаются самими учеными. Следовательно, есть все основания говорить о научном сообществе и как о форме самоорганизации ученых. В этом случае ценностно-нормативная система выполняет по меньшей мере две функции: обеспечивает согласование мотивов, интересов и целей всех членов научного сообщества, т.е. выполняет интегративную функцию; позволяет сообществу выступать в качестве

единого целого во взаимодействиях социального института науки с другими социальными институтами, с государством и обществом.

По отношению к государству и обществу научное сообщество можно считать автономным, если оно в состоянии самостоятельно формулировать и поддерживать собственные нормы и ценности и может само определять направления, тематику и проблематику своей деятельности. Наличие автономного научного сообщества - важнейший показатель того, что в данном обществе в основных чертах оформился институт науки. В соответствии с этим социальная роль ученого предполагает его стремление как отстоять и упрочить автономию науки, так и создать то, что требуется обществу в данный момент.

Интерес общества к науке также неоднозначен. С одной стороны, общество ждет от науки удовлетворения своих запросов, поэтому общество стремится указать ученым, не считаясь с их автономией, какими именно проблемами им следует заниматься, но с другой стороны, общество заинтересовано в эффективном функционировании науки и в длительной перспективе, а не только сегодня. Такая неоднозначность интересов придает взаимоотношениям науки и общества постоянную напряженность.

Кроме того, общество включает различные социальные слои, группы, классы, интересы которых в одной сфере близки, но в другой расходятся, а в третьей противоречат друг другу. В частности, различные социальные группы вырабатывают разные позиции в ценностном отношении к науке, имеют разные возможности воздействия на научное сообщество. Поэтому не исключены ситуации, когда противоборствующие социальные силы для обеспечения собственных интересов пытаются заручиться поддержкой научного сообщества или даже подчинить его себе.

С такого рода ситуациями ученым приходилось сталкиваться уже при становлении социального института науки. Так, в Англии XVII в., когда ее сотрясали религиозно-политические конфликты и гражданские войны, лидеры научного сообщества Р. Бойль, Р. Гук и их коллеги предпочли не вмешиваться в борьбу, фактически сделав выбор в пользу автономии науки. В Уставе Королевского общества, подготовленном Бойлем, в частности, было положение о цели Общества как о «совершенствовании знания о естественных предметах и всех полезных искусствах... с помощью экспериментов, не вмешиваясь в богословие, метафизику, мораль, политику, грамматику, риторику или логику». В истории науки эта норма периодически ставится под сомнение, однако в период формирования социального института науки без нее вряд ли науке удалось отстоять свою автономию.

Принцип невмешательства в вопросы религии, морали, политики в настоящее время часто называют принципом ценностной нейтральности либо принципом этической нейтральности науки. Предполагается, что ученые не затрагивают вопросы религии, этики, политики, а в обмен за это богословы, моралисты, политики также не должны вмешиваться в дела науки. Согласно принципу ценностной нейтральности, наука оперирует фактическими, а не ценностными суждениями, поэтому данный принцип называют и принципом свободы от ценностных суждений. Но по своей сути научная познавательная деятельность подлежит ценностным и моральным оценкам, поскольку научное познание не только осуществляется человеком, но оно осуществляется для человека. Здесь имеются в виду не только возможности его практически-прикладного использования, но и то, что знание, которое получает данный исследователь, по своим свойствам должно быть таким, чтобы его могли усвоить, воспринять и оценить и другие, по крайней мере его коллеги. Доступное для человеческого восприятия, понимания и осмысления исследование не будет считаться завершенным, если его результат не доложен коллегам на научном семинаре, симпозиуме или не опубликован в научном журнале. Ученый, делая свой результат достоянием научного сообщества, в какой-то мере отчуждает его от себя, а его коллеги получают возможность воспользоваться этим результатом для его критической оценки, для проведения новых исследований, для изложения его в учебнике, для его прикладного применения.

Процесс научного познания регулируется познавательными и методологическими нормами. Следование этим нормам или пренебрежение ими - моральный выбор ученого, предполагающий его ответственность перед своими коллегами и научным сообществом, т.е. профессиональную ответственность, которая предполагает в идеале стремление к истине, выражающееся в получении нового логически или экспериментально обоснованного знания.

Социальная ответственность ученых реализуется во взаимоотношениях науки и общества, причем проблемы профессиональной и социальной ответственности ученых тесно переплетены. Один из создателей квантовой механики, М. Борн, размышляя об американской ядерной бомбардировке японских городов Хиросима и Нагасаки, отмечал, что в современной науке и ее этике произошли такие изменения, что невозможно сохранение старого идеала служения знанию ради него самого. Социальная ответственность ученых была исходным импульсом, который заставил в начале 1960-х гг. сначала их, а затем и широкую общественность осознать серьезность ситуации, угрожающей будущему человечества в результате бездумного применения научно-технических достижений, которое становилось причиной загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов.

В 1970-е гг. общественный резонанс вызвали результаты и перспективы биомедицинских и генетических исследований. Группа биологов и генетиков во главе с американским ученым П. Бергом предложила даже объявить добровольный запрет на эксперименты в области генной инженерии, которые могут представлять потенциальную опасность для генетической конституции живущих ныне организмов.

Стоит упомянуть и дискуссии, связанные с бурным развитием микроэлектроники и информатики. Прогресс вычислительной техники, внедрение роботов и компьютеров во все сферы жизни человека и общества ставят немало вопросов о свободе и суверенности личности.

Можно сделать вывод, что социальная ответственность ученых не есть что-то внешнее по отношению к научной деятельности. Напротив, ценностные и этические основания - неотъемлемая часть научной деятельности, которая ощутимо влияет на проблематику и направления исследований. При этом развитие науки увеличивает количество проблемных ситуаций, и пока нравственный опыт, накопленный учеными и всем человечеством, оказывается недостаточным для их разрешения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое наука? Что является объектом, субъектом науки? Каковы цели науки? Что такое научный метод?

2. Что такое знание и познание? Какие основные виды познания вы знаете?

3. Каковы критерии разграничения научного знания от других его видов? Кратко их охарактеризуйте.

4. Что такое принцип фальсификации и как этот принцип работает?

Каковы следствия введения этого принципа в анализ научного знания?

5. Что такое средства науки? Каковы их виды? Что такое методология, метод науки и научные методы? Дайте характеристику основных методов науки.

6. Какова структура научного знания? Что такое научная картина мира, концепции, гипотезы, проблемы, факты?

7. Какие уровни научного знания вы знаете? Чем отличаются эмпирический и теоретический уровни знания? Каковы их функции? Где пролегает граница между эмпирическим и теоретическим видами знания?

8. Что такое теория? Каковы ее функции? Какие методы изложения теорий вы знаете?

9. Охарактеризуйте основные пути научного познания. В чем сходства и различия индуктивного и рационалистического путей познания? Какой вид исследования, по вашему мнению, наиболее перспективен?

10. На основании чего можно считать науку социальным институтом? Что такое этика науки?

11. Каковы основные идеалы и ценности современной науки? Каковы механизмы воспроизводства идеалов и ценностей научного сообщества?

12. В чем заключается ответственность ученого и научного сообщества перед обществом? Каковы обязательства общества перед ученым и научным сообществом?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грядовой Д.И.* Концепции современного естествознания. Структурный курс основ естествознания. М., 2000.

2. Концепции современного естествознания /Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М., 1997.

3. *Кун Т.* Структура научных революций. М., 1975.

4. *Лакатос И.* Методология научных исследовательских программ // Вопросы философии. 1995. № 4.

5. Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., 1968.

6. *Найдыш В.М.* Научная революция и биологическое познание: философско-методологический анализ. М., 1987.

7. *Печенкин А.А.* Обоснование научной теории: классика и современность. М., 1991.

8. *Поппер К.* Логика и рост научного знания. М., 1983.

9. *Пуанкаре А.* О науке. М., 1983.

10. Современная философия науки: знание, рациональность, ценности в трудах мыслителей Запада. М., 1996.

11. *Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А.* Философия науки и техники. М., 1996.

12. *Степин В.С.* Философия науки. М., 2003.

13. Структура и развитие науки (из Бостонских исследований по философии науки). М., 1978.

14. *Фейерабенд П.* Избранные труды по методологии науки. М., 1986.

15. Философия и методология науки /Под ред. В.И. Купцова. М., 1996.

16. Философские проблемы естествознания. М., 1985.

17. Философский энциклопедический словарь. М., 1983.

18. *Франк Ф.* Философия науки. М., 1960.

19. *Холтон Дж.* Тематический анализ науки. М., 1981.

Глава 3

ИСТОРИЯ НАУКИ И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

§ 3.1. История естествознания и модели развития науки

Подходы к изучению истории естествознания

Естественно-научную картину мира нельзя понять, не проследив ее истории и путей ее формирования. Систематические историко-научные исследования начались только в XIX в. Одной из первых в рамках истории науки решалась задача хронологической систематизации успехов различных отраслей науки. К настоящему времени созданы обширные исторические обзоры достижений практически во всех областях знания, в первую очередь различных отраслей естествознания.

Несколько позже сформировалась другая группа историко-научных задач, которая фокусировала внимание на описании механизма развития научных идей и проблем, следуя высказыванию А. Эйнштейна, что история науки — это не драма людей, а драма идей. При этом реконструировались основные традиции, темы и проблемы, характерные для той или иной дисциплины, и демонстрировалось постоянное обновление научных идей. В дальнейшем усилилось внимание к «человеческому элементу» научной деятельности и основной задачей стало воссоздание социокультурного и мировоззренческого контекстов

творчества ученых, анализ традиций научных сообществ различных эпох и регионов, реконструкция внешнего окружения, которое способствует или тормозит развитие научных идей, теорий, подходов.

В соответствии с представленными подходами поиск ответа на вопрос «как это было?» осуществляется несколькими путями [34]:

◇ составление хронологической шкалы достижений в различных научных дисциплинах с демонстрацией неуклонного роста знаний, начиная с древности и до наших дней;

◇ реконструкция хода мысли, особенностей рассуждений и доказательств ученых прошлых времен, полемика с идеями предшественников и современников;

◇ определение социального и культурного контекстов, в которых происходили те или иные события в развитии познания, а также внешних условий и факторов, под влиянием которых формировалось мировоззрение ученого, его судьба в социокультурной обстановке его времени.

В настоящее время обсуждаются *две традиции изучения истории науки*: презентизм - стремление рассказать о прошлом языком современности и антикваризм - желание восстановить картины прошлого в их внутренней целостности, без отсылок к современности. Обе традиции имеют свои положительные и отрицательные стороны; обращения и к той, и к другой вызывают определенные проблемы.

Противоречия, возникающие с интерпретацией исторических событий, можно показать на примере анализа сущности деятельности Х. Колумба [34]. Так, известно, что Колумб первый пересек Атлантический океан в субтропической и тропической полосе северного полушария и первый из европейцев плывал в американском Средиземном (Карибском) море. В период с 1492 по 1504 г. он успел совершить четыре путешествия. Колумб искал морской путь в Западную Индию, и, как ему самому казалось, он нашел этот путь.

Собственно название «Америка» впервые появилось в 1507 г. в книге М. Вальдземюллера. По его мнению, открытие нового материка принадлежало А. Веспуччи, который этот материк впервые подробно описал. При этом для Вальдземюллера, как и для других географов начала XVI в., Колумб и Веспуччи открывали новые земли в различных частях света: Веспуччи открыл и исследовал новые земли Америки, а Колумб - неизвестные земли Азии.

Укоренившееся в нашем сознании суждение о том, что Колумб открыл Америку, можно считать презентистским, поскольку верно относительно современных представлений о карте Земли. Антикваристская точка зрения заключается в том, что Колумб открыл «Западную Индию»; это суждение неверно относительно современного уровня знаний, однако оно адекватно описывает реальность исторического прошлого.

Таким образом, если мы анализируем сам путь Колумба, который некоторым образом перемещался в пространстве, то следует нанести на современную карту его маршрут и точно узнать, где он побывал. Но если мы интересуемся социально-культурным контекстом открытий Колумба как реального исторического лица, ставящего перед собой определенные цели, совершающего конкретные поступки и осмысливающего полученные результаты, то целесообразно обратиться к антикваристской реконструкции и, следовательно, отказаться от изображения маршрута XV в. на современной карте.

Другим примером не простого соотнесения презентизма и антикваризма в реконструкции исторического прошлого может быть анализ представлений алхимиков XIII—XV вв. Так, не совсем понятно, можно ли утверждать, что исследователи того времени считали высказывание «поваренная соль растворима в воде» имеющим смысл. Известно, что в то время пищу подсаливали, однако, согласно взглядам, распространенным в XV в., поваренная соль не NaCl и вода - не соединение H₂O, а особое жидкое состояние вещества. Поэтому растворить вещество означало превратить его в воду.

Еще один пример привел Т. Кун [17]. Он показал, что невозможно просто перевести термин «флогистированный воздух» как «кислород», а «дефлогистированный воздух» - как атмосферу, из которой кислород удален. Слово «флогистон» не имеет уловимого для

нас сегодня предметного отнесения к реальности, потому что за ним стоит вера в существование особой субстанции; эту веру современный исследователь не только не разделяет, но и не может в себе воссоздать.

Таким образом, изучая историю науки, нельзя вступить в прямой контакт с прошлым. Носители современной культуры сталкиваются с необходимостью описать действия исследователей прошлого, которые были осуществлены в рамках иной культуры, т.е. возникает проблема понимания прошлого. По аналогии с принципом неопределенности В. Гейзенберга, сформулированным для квантово-механических систем, в историко-научном исследовании был сформулирован принцип, в соответствии с которым можно преодолеть противоречия в интерпретации истории науки, возникающие в рамках презентизма и антикваризма, если принять, что в этих ситуациях действует принцип дополненности, позволяющий уточнить процедуру историко-научного анализа. При этом необходимо описать традиции, в рамках которых действовал интересующий нас исследователь, а также зафиксировать содержание действия. Тогда можно сказать, что презентизм понимает прошлое, а антикваризм объясняет его. Историко-научная реконструкция предполагает и то, и другое.

Еще одной проблемой, рассматриваемой в связи с развитием научного знания, является его *унаследованность*. В современной науке живут идеи, выдвинутые Аристотелем, Пифагором, Платоном, И. Кеплером и многими другими учеными прошлого. Эти идеи переосмысливаются, меняются, но сохраняют свое интеллектуальное значение. Более того, чем глубже идея, тем более она обогащается со временем все новыми значениями, новыми смыслами. Великие идеи прошлого как бы перерастают то, чем они были в эпоху своего создания. Развитие научных знаний выводит научные открытия и результаты за рамки узких предметных интерпретаций. Например, современники не могли до конца оценить величие идей И. Ньютона. Идеи Ч. Дарвина широко обсуждались уже при жизни автора, но он не мог подозревать, что схема «естественного отбора» станет общей схемой мышления, выйдет далеко за рамки биологии и будет присутствовать в трудах по кибернетике и теории познания.

Таким образом, развитие знаний - это исторический процесс, когда существующие системы знаний постоянно перекраиваются, перестраиваются, одни разделы исключаются, а вписываются другие, часто заимствованные из далеких отраслей знания. Более того, перед взором каждого исследователя стоят образцы действия ученых прошлого и настоящего, т.е. в своем историческом развитии наука опирается на прошлые достижения, иногда меняя их содержание почти до неузнаваемости.

Еще одной характерной чертой развития естествознания является сложное сочетание процессов *дифференциации и интеграции научного знания*. С одной стороны, накопление большого фактического и теоретического материала обусловило появление все большего количества самостоятельных естественно-научных дисциплин (дифференциация научного знания) со своими специфическими задачами и методами исследования.

В результате процесса дифференциации уточняются научные понятия, устанавливаются новые естественно-научные принципы, законы и закономерности, происходит детализация научных проблем. Чем глубже проникает естествознание в суть деталей, тем лучше оно вскрывает природные связи.

С другой стороны, объект естествознания един, поэтому между отдельными естественно-научными дисциплинами постоянно возникали и возникают многочисленные междисциплинарные связи (интеграция научного знания). Например, невозможно представить современную геологию, биологию или географию, не использующую физические и химические методы исследования вещества. Взаимодействие разных наук привело к возникновению таких смежных дисциплин, как биофизика, геохимия ландшафта, физическая химия и др. Интеграция научного знания проявляется в большом количестве процессов внутри науки - в организации междисциплинарных исследований, в разработке и использовании универсальных методов, концепций и т.д. Благодаря процессу

интеграции наука вскрывает общие связи и, следовательно, лучше уясняет суть деталей.

Анализ исторических путей развития естествознания должен опираться на представления о том, как происходило это развитие. В настоящее время получили распространение три основные модели исторических реконструкций науки вообще и естествознания в частности [34]: 1) как кумулятивного, поступательного, прогрессивного процесса; 2) как процесса развития посредством научных революций; 3) как совокупности индивидуальных, частных ситуаций (так называемых «кейс стадис»). Возникнув в разное время, эти три модели сосуществуют в современном анализе истории науки.

Кумулятивная модель развития науки

Объективной основой для возникновения кумулятивистской модели развития науки стал факт накопления знаний в процессе научной деятельности. Основные положения этой модели можно сформулировать следующим образом. Каждый последующий шаг в науке можно сделать, лишь опираясь на предыдущие достижения. При этом новое знание всегда совершеннее старого, оно более точно, более адекватно воспроизводит действительность, поэтому все предыдущее развитие науки можно рассматривать как предысторию, как подготовку современного состояния. Значение имеют только те элементы научного знания, которые соответствуют современным научным теориям. Идеи и принципы, от которых современная наука отказалась, являются ошибочными и представляют собой заблуждения, недоразумения и уход в сторону от основного пути ее развития.

Возникновение кумулятивной модели связано с большой популярностью в методологии науки XIX в. закона трех стадий *О. Конта*. Он считал, что этому закону подчиняется развитие неорганического и органического мира, а также человеческого общества, в том числе и развитие научного знания. Закон трех стадий Конта предполагает наличие трех стадий в развитии как науки в целом, так и каждой дисциплины и даже каждой научной идеи: теологической (религиозной), метафизической (философской), позитивной (научной). В теологическом состоянии человеческий дух, направляя свои исследования на внутреннюю природу вещей, считает причиной явлений сверхъестественные факторы. В метафизическом состоянии сверхъестественные факторы заменяются абстрактными силами или сущностями. Наконец, в позитивном состоянии человеческий дух познает невозможность достижения абсолютных знаний, отказывается от исследования происхождения и назначения существующего мира и от познания внутренних причин явлений и стремится, комбинируя рассуждение и наблюдение, к познанию действительных законов явлений, т.е. их неизменных отношений последовательности и подобия.

По мнению *Г. Спенсера*, развивавшего идеи Конта, в процессе развития науки меняется лишь степень общности выдвигаемых концепций, которая зависит от широты обобщений, возрастающей по мере накопления опыта. По его мнению, прерывность в науке обусловлена прежде всего актами творчества, появлением нового знания, не похожего на старое, но которое надо каким-то образом вывести из старого, чтобы сохранить непрерывность развития. Появление принципиально нового знания, возникновение фундаментально новой теории в развитии науки характеризуются скорее философским, чем естественно-научным типом мышления. Спенсер выводил за пределы науки всякое философствование, что делало историю науки плавной, непрерывной, т.е. кумулятивной.

В рамках кумулятивной модели ставились задачи обнаружения законов исторического развития, поскольку, в представлениях ученых того времени, история должна быть такой же точной теоретической наукой, как механика или астрономия. Поэтому *Э. Мах* формулирует «принцип непрерывности», который позволяет ему включить научное открытие в непрерывный ряд развития. По мысли Маха, ученый должен отыскивать в явлениях природы единообразие, т.е. должен представлять новые факты таким образом, чтобы они отвечали уже известным законам. По Маху, научное открытие состоит в том, чтобы представить неизвестное, непонятное явление или факт действительности как подобное уже чему-то известному и как подчиняющееся тому же правилу или закону, что

и это известное.

Большой вклад в развитие кумулятивной модели внес *П. Дюгем*, который выдвинул идею непрерывного развития науки, опирающуюся на отделение науки от философии. По его воззрениям, все катаклизмы, споры, дискуссии, трансформации следует вывести за пределы истории науки. Поднимая проблему научного открытия как некоторого скачка, он полагал, что при всей бесспорности крупных сдвигов и переворотов в истории науки их надо свести к постепенности, непрерывности, для того чтобы включить в какую-то историко-научную реконструкцию. В связи с этим Дюгем выдвинул идею абсолютной непрерывности и кумулятивности развития науки. Результатом развития этой идеи явилась, в частности, «реабилитация» Дюгемом средних веков. Он убедительно показал огромное значение средневековой науки для формирования науки Нового времени. В его трудах Средневековье не было мрачной эпохой, периодом, когда отсутствовало всякое более или менее разумное научное размышление.

Научные революции в истории науки

В середине XX в. исторический анализ науки стал опираться на идеи прерывности, особенности, уникальности, революционности. При этом указывалось, что межреволюционные периоды в развитии науки, изучение которых достигло хороших результатов, трудно понять без интерпретации научных революций. Более того, было осознано, что от такой интерпретации зависит понимание самих кумулятивных периодов.

Одним из пионеров внедрения этих представлений в историческое исследование науки считается *А. Коуре*. Так, период XVI—XVII вв. он рассматривает как время фундаментальных революционных трансформаций в истории научной мысли. Изучая этот период, Коуре пришел к выводу, что европейский разум осуществил тогда очень глубокую умственную революцию, которая модифицировала сами основы и даже структуру научной мысли. Коуре показал, что научная революция - это переход от одной научной теории к другой, в ходе которой изменяется не только скорость, но и направление развития науки.

В настоящее время широкое распространение получило несколько концепций революционного развития науки. Наиболее известная модель предложена *Т. Куном* [17]. Центральным понятием его модели стало понятие «парадигма», т.е. признанные всеми научные достижения, которые в течение какого-то времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений. Развитие научного знания в рамках определенной парадигмы называют «нормальная наука». После некоторого момента парадигма перестает удовлетворять научное сообщество, и тогда ее сменяет другая — происходит научная революция. По представлениям Куна, выбор новой парадигмы является случайным событием, так как есть несколько возможных направлений развития науки, и какое из них будет выбрано - дело случая. Более того, переход от одной научной парадигмы к другой он сравнивал с обращением людей в новую веру: и в том, и в другом случае мир привычных объектов предстает в совершенно ином свете в результате пересмотра исходных объяснительных принципов. Научная деятельность в межреволюционные периоды исключает элементы творчества, и творчество выводится на периферию науки или за ее пределы. Кун рассматривает научное творчество как яркие, исключительные, редкие вспышки, определяющие все последующее развитие науки, в ходе которого добытое ранее знание в форме парадигмы обосновывается, расширяется, подтверждается.

В соответствии с концепцией Куна новая парадигма утверждается в структуре научного знания последующей работой в ее русле. Показательным примером такого типа развития является теория К. Птолемея о движении планет вокруг неподвижной Земли, позволявшая предвычислить их положение на небе. Для объяснения вновь обнаруживаемых фактов в этой теории постоянно увеличивалось число эпициклов, вследствие чего теория стала крайне громоздкой и сложной, что в конечном счете привело к отказу от нее и принятию теории Н. Коперника.

Другая модель развития науки, получившая широкое признание, предложена *И. Лакатосом* [18, 31] и названа «методология научно-исследовательских программ». По мысли Лакатоса, развитие науки обусловлено постоянной конкуренцией научно-исследовательских программ. Сами программы имеют определенную структуру. Во-первых, «жесткое ядро» программы, которое включает неопровержимые для сторонников данной программы исходные положения. Во-вторых, «негативная эвристика», являющаяся, по сути дела, «защитным поясом» ядра программы и состоящая из вспомогательных гипотез и допущений, снимающих противоречия с фактами, которые не укладываются в рамки положений жесткого ядра. В рамках этой части программы строится вспомогательная теория или закон, который мог бы позволить перейти от него к представлениям жесткого ядра, а положения самого жесткого ядра подвергаются сомнению в последнюю очередь. В-третьих, «позитивная эвристика», которая представляет собой правила, указывающие, какой путь надо выбирать и как по нему идти, для того чтобы научно-исследовательская программа развивалась и становилась наиболее универсальной. Устойчивость развитию науки придает именно позитивная эвристика. При ее исчерпании происходит смена программы, т.е. научная революция. В связи с этим в любой программе выделяются две стадии: вначале программа является прогрессирующей, ее теоретический рост предвосхищает ее эмпирический рост и программа с достаточной долей вероятности предсказывает новые факты; на более поздних стадиях программа становится регрессирующей, ее теоретический рост отстает от ее эмпирического и она может объяснять либо случайные открытия, либо факты, которые были открыты конкурирующей программой. Следовательно, главным источником развития выступает конкуренция исследовательских программ, которая обеспечивает непрерывный рост научного знания.

Лакатос в отличие от Куна не считает, что возникшая в ходе революции научно-исследовательская программа является завершенной и вполне оформившейся. Положительная эвристика программы определяет проблемы, подлежащие решению, а также предсказывает аномалии и превращает их в подтверждающие примеры. Развитие, совершенствование программы в послереволюционный период - необходимое условие научного прогресса. Поэтому, говорит Лакатос, деятельность ученого в межреволюционные периоды носит творческий характер. Даже в ходе доказательства, обоснования знания, полученного в ходе последней более или менее значительной революции, это знание трансформируется.

Еще одно отличие этих концепций заключается в следующем. По Куну, все новые и новые подтверждения парадигмы, получающиеся в ходе решения очередных задач-головоломок, укрепляют безусловную веру в парадигму — веру, на которой держится вся нормальная деятельность членов научного сообщества. Лакатос утверждает, что процедура доказательства истинности первоначального варианта исследовательской программы приводит не к вере в нее, а к сомнению, порождает потребность перестроить, усовершенствовать, сделать явными скрытые в ней возможности, т.е. революционная научно-исследовательская деятельность не является прямой противоположностью деятельности ученого в межреволюционные периоды. Поскольку в ходе революции создается лишь первоначальный проект новой научно-исследовательской программы, то работа по ее окончательному формированию продолжается весь послереволюционный период.

В настоящее время мало кто сомневается в существовании научных революций. Однако нет единого мнения о том, что такое «научная революция». Часто ее трактуют как ускоренную эволюцию, т.е. некая теория модифицируется, но не опровергается.

К. Поппер предложил концепцию перманентной революции [26]. Согласно его представлениям, любая теория рано или поздно фальсифицируется, т.е. находятся факты, которые полностью ее опровергают. В результате этого появляются новые проблемы, а движение от одних проблем к другим определяет прогресс науки.

По представлениям *М.А. Розова*, выделяются три типа научных революций [30, 34]: 1) построение новых фундаментальных теорий. Этот тип, собственно говоря, совпадает с научными революциями Куна; 2) научные революции, обусловленные внедрением новых методов исследования, например появление микроскопа в биологии, оптического и радиотелескопов в астрономии, изотопных методов определения возраста в геологии и т.д.; 3) открытие новых «миров». Этот тип революций ассоциируется с Великими географическими открытиями, обнаружением миров микроорганизмов и вирусов, мира атомов, молекул, элементарных частиц и т.д.

К концу XX в. представление о научных революциях сильно трансформировалось. Постепенно перестают рассматривать разрушительную функцию научной революции. В качестве наиболее важной выдвигают созидательную функцию, возникновение нового знания без разрушения старого. При этом предполагается, что прошлое знание не утрачивает своего своеобразия и не поглощается актуальным знанием.

«Кейс стадис» как метод исследования

В 1970-е гг. большую популярность приобретает модель «кейс стадис» (ситуационного исследования). Здесь подчеркивается прежде всего необходимость остановить внимание на отдельном событии из истории науки, которое произошло в определенном месте и в определенное время. *«Кейс стадис» - это как бы пересечение всех возможных траекторий истории науки, сфокусированных в одной точке с целью рассмотреть и реконструировать одно событие из истории науки в его целостности, уникальности и невоспроизводимости* [34]. В «кейс стадис» ставится задача понять прошлое событие не как вписывающееся в единый ряд развития, не как обладающее какими-то общими с другими событиями чертами, а как неповторимое и невоспроизводимое в других условиях.

Такого рода исследования представлены в научной литературе. Например, Р. Телнер в статье «Логические и психологические аспекты открытия циркуляции крови» пишет, что научное открытие следует изображать как историческое событие, в котором смешались идеи, содержание и цели предшествующей науки, а также культурные и социальные условия того времени, когда открытие было сделано. По его мнению, только такое исследование может дать информацию о новом аспекте научного открытия, описать, как развивался новый взгляд, каким путем и какими средствами он вошел в историю или почему не вошел. Еще одной иллюстрацией метода «кейс стадис» может служить статья Т. Пинча (1985), где он рассматривает два эпизода из истории науки: определение в 1967 г. солнечных нейтрино и измерение тогда же сплюснутости Солнца. По Пинчу, предметом «кейс стадис» становится непосредственная научная практика, выраженная в анализе эпизодов научного диспута, эпизодов жизнедеятельности отдельных лабораторий, научных коллективов. Индивидуальные случаи наблюдения можно связать с более широкими интересами и ресурсами других групп ученых, включенных в научную практику.

Исследования в стиле «кейс стадис» сосредоточены на самом событии, по возможности целостном и неповторимом. Такое событие несет в себе некоторые симптомы переломных, поворотных моментов в истории науки; оно оказывается легкообозримым и точно определяемым перекрестком разных направлений историко-научного поиска, будь то анализ процесса творчества, социальных условий, соотношения общества и собственно научного сообщества, структуры научного знания и т.д. Для «кейс стадис» важно, что в качестве целостного и уникального выбирается событие, малое по объему. Здесь изучаются локализованные события, такие, как отдельный текст, научный диспут, материалы конференции, научное открытие в определенном научном коллективе и т.д. Особое значение для «кейс стадис» приобретает возможность представить исторические события как некую «воронку», в которую втягиваются и предшествующие, и последующие события.

«Кейс стадис» в их сегодняшнем состоянии - лишь начало процесса обращения историков науки к исходным элементарным составляющим предмета исторического анализа как некоторому средоточию всеобщности. Элементарное событие не приобщается к некоторому всеобщему, находящемуся вне его, а, наоборот, это всеобщее обнаруживается в нем самом и через общение с другим особенным событием.

§ 3.2. Традиции и новации в истории естествознания

Традиции в истории естествознания

В процессе развития естествознания традиции и новации выполняют свои специфические функции. Традиции образуют «скелет» естествознания, который определяет характер деятельности ученого [34]. Т. Кун первый рассмотрел традиции как центральный объект при анализе науки в целом. Он назвал парадигмой прошлые достижения, лежащие в основе такой традиции. Чаще всего речь идет о некоторой достаточно общепринятой теоретической концепции (система Коперника, механика Ньютона и т.п.).

В научном познании обычно приходится сталкиваться не с одной или несколькими традициями, а со сложным их многообразием. Традиции различаются и по содержанию, и по функциям в составе науки, и по способу своего существования. Они могут существовать в виде текстов (вербальные), в форме неявного знания (невербальные); последние передаются от учителя к ученику или от поколения к поколению на уровне непосредственной демонстрации образцов.

Любое знание функционирует двояким образом [34]. Во-первых, оно фиксирует некоторый способ практических или познавательных действий, производственные операции или методы расчета и в этих случаях выступает как вербализованная традиция. Во-вторых, как неявное знание оно задает образец продукта, к получению которого надо стремиться. В простейшем случае речь идет о постановке вопросов. Так, знание формы и размеров окружающих нас предметов породило вопрос о форме и размерах Земли, а знание расстояний между земными ориентирами позволило поставить вопрос о расстоянии от Земли до Луны и до звезд.

Традиции могут быть *явными* и *неявными*. Противопоставление явных и неявных традиций дает возможность понять различие между научными школами (явные традиции) и научными направлениями (неявные традиции). Развитие научного направления может быть связано с именем крупного ученого, но в отличие от научной школы оно не предполагает обязательных постоянных личных контактов людей, работающих в рамках этого направления. В научной школе контакты необходимы, так как большое значение имеет опыт, непосредственно передаваемый от учителя к ученику, от одного члена сообщества к другому.

Неявные традиции отличаются друг от друга не только по содержанию, но и по механизму своего воспроизведения. В основе их могут лежать как образцы действий, так и образцы продуктов. Например, очевидно, что есть разница между демонстрацией технологии производства некоего продукта и показом готового продукта с предложением сделать такой же.

Еще одним основанием для разделения традиций может служить их роль в системе науки. Одни традиции задают способы получения новых знаний (инструкции, задающие методику проведения исследований, образцы решенных задач, описания экспериментов и т.д.), а другие - принципы их организации (образцы учебных курсов, классификационные системы, лежащие в основе разделения научных дисциплин, категориальные модели действительности, определяющие рубрикацию при организации знаний, определение предмета тех или иных дисциплин). Вероятно, ни одна наука не имеет оснований считать себя окончательно сформировавшейся, пока не появились обзоры или учебные курсы, т.е. пока не заданы традиции организации знания.

Незнание и неведение

Новации могут состоять в постановке новых проблем, в построении новой классификации или периодизации, в разработке новых экспериментальных методов исследования, обнаружении новых явлений и т.д. Все новации можно разделить на преднамеренные и непреднамеренные. Первые возникают как результат целенаправленной деятельности и происходят в рамках парадигмы, вторые возникают только как побочный результат и ведут к изменению парадигмы. Это деление можно уточнить, противопоставив незнание и неведение [34].

Под незнанием подразумевается то, что может быть выражено в виде «Я не знаю того-то». Так, можно не знать химического состава какого-либо вещества, расстояния между какими-то городами, причины каких-нибудь явлений и т.д. Во всех этих случаях можно поставить вполне конкретный вопрос или сформулировать задачу выяснения того, чего мы не знаем. *Незнание — это область нашего целеполагания, область планирования нашей познавательной деятельности.*

Сфера неведения — это все, что в принципе не может быть выражено подобным образом, просто не существует в нашем сознании как нечто определенное. В отличие от незнания неведение не может быть зафиксировано в форме конкретного утверждения типа: «Я не знаю того-то». Очевидно, что невозможен целенаправленный поиск неизвестных или, точнее, неведомых явлений. Неведение открывается только как побочный результат. Так, после открытия Австралии правомерно было поставить вопрос о животных, которые ее населяют; это составляло сферу незнания. Но тогда было невозможно поставить вопрос о том, в течение какого времени кенгуру носит в сумке своего детеныша, так как не было знания о существовании на Земле сумчатых животных.

Сопоставление незнания и неведения позволяет уточнить понятия открытия и обнаружения. Так, можно сказать, что наука открыла сумчатых животных. Открытия подобного рода часто знаменуют собой переворот в науке, но от неведения к знанию нет рационального, целенаправленного пути. Про И.Г. Галле можно сказать, что он обнаружил, а не открыл планету Нептун, так как эта планета была теоретически предсказана У.Ж. Лавуазье¹ на основании возмущений орбиты Урана. Специфической особенностью открытий является то, что на них нельзя выйти с помощью постановки соответствующих вопросов, ибо существующий уровень развития науки и культуры не дает оснований для вопроса. Принципиальную невозможность постановки того или иного вопроса следует отличать от его постановки нетрадиционных вопросов в рамках той или иной науки или культуры в целом.

Приведенные примеры относятся к сфере эмпирического исследования. На уровне теории также открывают новые явления; например, П. Дирак теоретически открыл позитрон. Однако обычно говорят, что теории не обнаруживают и не открывают, а их строят или формулируют. Здесь происходит переход из сферы обнаружений и открытий в сферу проектов и их реализации.

Проекты можно строить путем переноса образцов из одной области знания в другую или с помощью оригинальных идей, не имеющих прямых аналогов.

Путем переноса образцов В. Дэвисом была построена теория эрозионных циклов, которая сыграла огромную роль в развитии как геоморфологии (науке о рельефе земной поверхности), так и всей физической географии [7]. Согласно этой теории, все разнообразие формы рельефа образуются под воздействием двух основных факторов - тектонических поднятий суши и обратно направленных процессов эрозии. Образцом для Дэвиса служила концепция Ч. Дарвина о развитии коралловых островов, т.е. одна теория строилась по образцу другой. Так, у Дарвина все определяется соотношением двух процессов: медленного опускания морского дна и роста кораллов; у Дэвиса также два процесса - поднятие суши и процесс эрозионного воздействия текучих вод на возвышенный участок. В обеих теориях два фактора, находясь как бы в противоборстве друг с другом, определяют тем самым стадию развития объекта. В теории Дарвина

вследствие опускания суши на поверхности океана остается лишь коралловая постройка - атолл, в теории Дэвиса следствием эрозии является почти плоская равнина — пенеплен. Следовательно, один и тот же принцип построения модели использован при изучении разных явлений.

Заметим, что общая идея, лежащая в основе теории образования коралловых островов, принадлежит не Дарвину. Путешествуя на «Бигле», он возил с собой книгу Ч. Лайеля «Принципы геологии», где даже на переплет было вынесено вошедшее потом во многие учебники изображение колонн храма Юпитера-Сераписа со следами поднятий и погружений.

Приведем еще несколько примеров [35]. Выдающийся отечественный естествоиспытатель и почвовед В.В. Докучаев создал, как считается, новый оригинальный проект, не имевший в то время прямого аналога. Однако создал как побочный результат. Предполагают, что восприятию почвы как специфического естественного тела природы способствовало то, что Докучаев пришел в почвоведение как геолог. Иными словами, первоначально Докучаев работает в рамках сложившихся традиций, но полученный им результат, показывающий, что почва есть продукт совокупного действия ряда природных факторов, оказывается образцом, или проектом, нового подхода в науках о Земле.

Нередко ученый, пришедший из одной области науки в другую и не связанный традициями этой области науки, делает то, что не могли сделать до него, поскольку использует методы и подходы, которые помогают по-новому поставить и решить проблемы. Например, Л. Пастер как химик владел экспериментальным методом; осваивая новую для себя область знания, он применял известные ему методы и приемы работы и во многом благодаря этому стал основоположником микробиологии и иммунологии. Еще один пример - деятельность А. Вегенера. Он получил докторскую степень по астрономии, затем занимался метеорологией, а итогом его деятельности стало учение о дрейфе континентов. Вегенер как ученый не связывал себя границами той или иной дисциплины, поэтому ему удалось привнести полипредметность в обсуждение проблемы перемещения материков, используя данные палеонтологии, стратиграфии, палеоклиматологии, тектоники и т.д.

По основанию незнания и неведения можно разделить все фундаментальные открытия на два класса. К первому классу - открытия на основании незнания - можно отнести уже представленное выше открытие планеты Нептун У.Ж. Леверье и Дж. К. Адамсом - большое событие в естествознании. К нему ученые пришли следующим образом. Сначала были рассчитаны траектории планет. Потом выяснилось, что они не совпадают с наблюдаемыми. Это подтолкнуло к предположению о существовании новой планеты. Последний этап - обнаружение планеты в телескоп в соответствующей точке пространства. Это открытие можно отнести к открытиям на основании незнания, поскольку оно было совершено на фундаменте уже разработанной небесной механики.

Следовательно, такие задачи обычно относятся к четко определенной предметной области. При их решении можно ясно представить себе, где именно следует искать ответ, хотя к задачам данного класса необязательно подходить со стандартным алгоритмом. Обычно здесь требуется глубокое понимание специфики рассматриваемых объектов, развитая профессиональная интуиция.

Фундаментальные открытия второго класса построены на основании неведения. Проблем, приведших к такого рода открытиям, в естествознании возникало не так уж и много, но их решения всякий раз означали огромный прогресс в развитии естествознания, науки и культуры в целом. Это такие фундаментальные научные теории и концепции, как гелиоцентрическая теория Н. Коперника, классическая механика И. Ньютона, генетика Г. Менделя, теория эволюции Ч. Дарвина, теория относительности А. Эйнштейна, квантовая механика.

Психологический контекст открытий

Говоря о психологическом контексте открытий этих двух классов, можно предположить, что он одинаков [34]. Самым приблизительным образом его можно характеризовать как непосредственное видение, открытие в полном смысле этого слова. По мнению Р. Декарта, исследователь как бы «вдруг» видит, что проблему нужно рассматривать именно так, а не иначе. Но открытие никогда не бывает мгновенным. Обычно сначала присутствует некое ощущение идеи. Потом она проясняется путем выведения из нее следствий, которые, как правило, уточняют идею. Затем из новой модификации выводятся новые следствия и т.д.

Выдвижение новых фундаментальных принципов всегда связывалось с деятельностью гениев, с озарением, с какими-то тайными характеристиками человеческой психики. Обращаясь к истории естествознания, мы видим, что такого рода открытия действительно осуществляются незаурядными людьми. Обратим внимание на тот факт, что многие открытия делали независимо друг от друга несколько ученых практически в одно время. Так, Ч. Дарвин впервые обнаружил свои идеи об эволюции видов в докладе, прочитанном в 1858 г. на заседании Линнеевского общества в Лондоне; на этом же заседании выступил и А.Р. Уоллес с изложением результатов исследований, которые по существу совпадали с дарвиновскими. Специальная теория относительности носит, как известно, имя А. Эйнштейна, который изложил ее принципы в 1905 г. Но в том же 1905 г. к подобным выводам пришел А. Пуанкаре. Совершенно удивительно «переоткрытие» менделеевской генетики в 1900 г. одновременно и независимо друг от друга Э. Чермаком, К. Корренсом и Х. Де Фризом. В истории естествознания можно найти множество похожих ситуаций. Таким образом, имеется историческая обусловленность фундаментальных открытий, что приводит к почти одновременному их открытию разными учеными.

Иногда фундаментальные открытия самими учеными и их современниками трактуются как решения частных задач и не связываются с фундаментальными проблемами. Например, Н. Коперник создал свою теорию в связи с тем, что в исследованиях были обнаружены несоответствия наблюдений и предсказаний на базе птолемеевской геоцентрической системы, т.е. возник конфликт между новыми данными и старой теорией. Но как показывает более глубокий анализ, Коперник убедился, что два фундаментальных мировоззренческих принципа его времени — принцип движения небесных тел по кругам и принцип простоты природы - явно не реализуются в астрономии. Решение этой фундаментальной проблемы привело его к великому открытию. Поэтому следует признать, что в общем случае фундаментальные открытия всегда связаны с решением фундаментальных проблем, т.е. таких, которые касаются наиболее общих представлений о действительности, ее познании, о системе ценностей, руководящей нашим поведением.

§ 3.3. Этапы становления современного естествознания

Этапы изменения характера науки

Современное естествознание состоит из большого количества дисциплин, причем некоторые естественно-научные дисциплины появились в античности или даже еще раньше (например, астрономия и география), другие возникли в Новое время (классическая механика), а третьи - уже в XIX в. (статистическая физика, электродинамика, физическая химия); наконец, часть дисциплин сформировалась совсем недавно (кибернетика, молекулярная генетика и т.д.). В современной литературе ведется спор о времени возникновения науки [34]. Вероятно, было бы полезно говорить не о том или ином рубеже, на котором возникла «настоящая» наука, а об этапах изменения функций науки в структуре общественной культуры. Можно говорить о пяти основных этапах изменения характера науки.

На первом этапе наука была связана с опытом практической и познавательной деятельности. Возникновение науки, вероятно, следует отнести к каменному веку, т.е. к той эпохе, когда человек в процессе непосредственной жизнедеятельности начинает

накапливать и передавать другим знания о мире, и в первую очередь это касается естествознания. Так, один из основателей науковедения, английский физик XX в. Дж. Бернал, опираясь на тезис о том, что естествознание имеет дело с действенными манипуляциями и преобразованиями материи, полагает, что главный поток науки вытекает из практических технических приемов первобытного человека, следовательно, современная сложная цивилизация, основанная на механизации и науке, развилась из ремесел и обычаев наших предков [3]. Кульминационным пунктом этого этапа стала наука Древнего Египта и Вавилона.

Второй этап начался примерно в V в. до н.э. в Древней Греции; в это время мифологическое мышление сменяют первые программы исследования природы и не только появляются образцы исследовательской деятельности, но и осознаются некоторые фундаментальные принципы познания природы. Науку стали понимать как сознательное, целенаправленное исследование природы, осмысливались сами способы обоснования полученного знания, а также принципы познавательной деятельности. Известно, что только в Древней Греции начали доказывать теоремы; Аристотель проанализировал процесс доказательства и создал теорию доказательств - логику. В античное время возникают первые законченные системы теоретического знания (геометрия Евклида), происходит становление натурфилософии, формируются учение о первоначалах, атомистика, развиваются математика и механика, астрономия; в то же время появились описания окружающего мира, систематизирующие природные явления (географические работы Страбона).

Третий этап, ознаменованный развитием схоластики (занятой обсуждением вопроса отношения знания к вере и отношения общего к единичному), длился до второй половины XV в. В это время большое значение придавалось вненаучным видам знания (астрология, алхимия, магия, кабалистика и т.п.). Развивались математика, астрономия и медицина, а центр естественно-научных исследований в начале этого этапа переместился в Азию. Поворот в естествознании в Западной Европе в XII-XIV вв. связан с переосмыслением роли опытного знания. Наука в этом понимании формируется в первую очередь в Англии и связана с работами естествоиспытателей, математиков и одновременно деятелей церкви — епископа Р. Гроссетеста, монаха Р. Бэкона, теолога Т. Брадвардина и др. Эти ученые полагают, что следует опираться на опыт, наблюдение и эксперимент, а не на авторитет предания или философской традиции (безусловно, это и сейчас считается важнейшей чертой научного мышления), шире применять математические методы в естествознании; так, по мнению Бэкона, математика является вратами и ключом к прочим наукам.

Четвертый этап — вторая половина XV—XVIII в. -отмечен возникновением науки в том смысле, что наука — не что иное, как естествознание, умеющее строить математические модели изучаемых явлений, сравнивать их с опытным материалом, проводить рассуждения посредством мысленного эксперимента. Начало этого этапа отмечено созданием гелиоцентрической системы (Н. Коперник) и учением о множественности миров и бесконечности Вселенной (Дж. Бруно). В XVII в. происходит признание социального статуса науки, рождение ее как особого социального института. Это выразилось, в частности, в том, что во второй половине XVII в. возникают Лондонское Королевское общество и Парижская академия наук. В это время появляются работы И. Кеплера, Х. Гюйгенса, Г. Галилея, И. Ньютона. С их именами связано рождение основ современной физики и необходимого для нее математического аппарата, формулирование основных идей классической механики (три основных закона движения, закон всемирного тяготения и т.п.), экспериментального естествознания. Кроме того, это эпоха Великих географических открытий (В. да Гама, Ф. Магеллан и др.).

Пятый этап относят к первой половине XIX в., начало которого характеризуется совмещением исследовательской деятельности и высшего образования. Первыми реформаторами стали ученые Германии, прежде всего Берлинского университета. Суть реформ состояла в оформлении науки в особую профессию. Во главе реформ стоял

известный исследователь того времени В. Гумбольдт. Наиболее полно идеи реформирования высшего образования в данном направлении были реализованы в лаборатории известного химика Ю. Либиха, который привлекал студентов к исследованиям, имеющим прикладное значение. С середины XIX в. проводятся исследования с целью разработки технологий производства удобрений, ядохимикатов, взрывчатых веществ, электротехнических товаров, затребованных мировым рынком. Процесс превращения науки в профессию завершает ее становление как современной науки. Научная деятельность становится важной, устойчивой социокультурной традицией, закреплённой множеством осознанных норм, а государство берет на себя некоторые обязательства по поддержанию этой профессии. Данный этап можно назвать этапом эволюционных идей в естествознании. В это время появляются космогоническая гипотеза Канта-Лапласа, теория катастроф, теория геологического и биологического эволюционизма, формулировка Периодической системы химических элементов, начала клеточной теории, закон сохранения и превращения энергии.

В конце XIX - начале XX в. разрабатывается классическая электродинамика, обнаруживается и изучается явление радиоактивности, открыты электрон и атомное ядро, формулируются квантовая гипотеза и квантовая теория атома, а также специальная теория относительности, а в первой половине XX в. - общая теория относительности. Важными событиями развития естествознания XX в. являются создание модели расширяющейся Вселенной, квантовой механики, кибернетики, открытие расщепления ядра урана и структуры генетического кода и т.д.

Научные революции Нового и Новейшего времени

В настоящее время популярна идея о том, что в истории науки со времени становления ее как социального института в XVII в. произошли четыре глобальные революции и были соответственно три периода в развитии науки, различающиеся по типам преобладающей рациональности [29, 30].

Первая научная революция произошла в XVII в. и завершилась становлением классического естествознания. С этого времени основное внимание уделялось поиску очевидных, наглядных принципов бытия, на базе которых можно строить теории, объясняющие и предсказывающие опытные факты. В соответствии с распространенной идеей о возможности редукции (сведения) всего знания о природе к фундаментальным принципам и представлениям механики строилась и развивалась механистическая картина природы, которая выступала одновременно и как картина реальности применительно к сфере физического знания, и как общенаучная картина мира. Преобладали представления о познании как наблюдении и экспериментировании с объектами природы, которые раскрывают тайны своего бытия познающему разуму.

Такая система взглядов соединялась с представлениями об изучаемых объектах как о малых системах или механических устройствах, которые характеризовались относительно небольшим количеством элементов, их силовыми взаимодействиями и жестко предопределенными (детерминированными) связями. Их познание связано с предположениями о том, что свойства целого полностью определяются состояниями и свойствами его отдельных частей, вещь можно представлять как относительно устойчивое тело, а процесс - как перемещение тел в пространстве с течением времени. Это обеспечивало успех механики и предопределяло редукцию (сведение) к ее понятиям представлений всех других областей естественно-научного исследования.

Вторая научная революция произошла в конце XVIII - первой половине XIX в. и отмечена переходом к дисциплинарно организованному естествознанию. В это время механистическая картина мира утрачивает статус общенаучной. Формирующиеся в биологии, геологии, географии и других областях естествознания специфические картины реальности несводимы к механической, а отражают идеалы эволюционного объяснения. Физика же продолжает строить свои знания, абстрагируясь от идеи развития, однако

разработка теории поля приводит к постепенному размыванию ранее преобладавших норм механического объяснения, хотя познавательные установки классической науки еще сохраняются. Одной из центральных становится проблема соотношения методов науки, синтеза знаний и классификации наук. Поиск путей единства науки, проблема дифференциации и интеграции знания превращаются в фундаментальную проблему.

Итак, первая и вторая глобальные революции в естествознании характеризуются формированием и развитием классической науки и ее стиля мышления.

Третья научная революция была связана со становлением неклассического естествознания в период с конца XIX до середины XX в. В это время в физике открыта делимость атома, происходит становление релятивистской и квантовой теории; в космологии формулируется концепция нестационарной Вселенной; в химии начинается развитие квантовой химии; в биологии происходит становление генетики; возникают кибернетика и теория систем, сыгравшие огромную роль в построении современной научной картины мира.

Идеалы и нормы неклассической науки связаны с пониманием относительной истинности теорий и картины природы, выработанной на том или ином этапе развития естествознания. Вместо представлений о единственно истинной теории допускается истинность некоторого количества отличающихся друг от друга теоретических описаний одной и той же реальности. Образцом служили идеалы и нормы квантово-релятивистской физики, где в качестве необходимого условия объективности объяснения и описания выступала фиксация особенностей средств наблюдения, взаимодействующих с объектом. Новая система познавательных идеалов и норм открывала путь к освоению сложных саморегулирующихся систем с уровневой организацией, наличием относительно независимых и изменчивых подсистем, вероятностным взаимодействием их элементов, существованием управляющего уровня и обратных связей, обеспечивающих целостность системы.

Включение таких систем в процесс научного исследования вызвало трансформации картин мира многих областей естествознания. Создавались предпосылки для построения целостной картины природы, отмеченной иерархической организованностью Вселенной как сложного динамического единства. На этом этапе картины реальности, вырабатываемые в отдельных науках, еще сохраняли свою самостоятельность, но каждая из них участвовала в формировании представлений, которые затем включались в общенаучную картину мира. Последняя рассматривалась не как точный и окончательный портрет природы, а как постоянно уточняемая и развивающаяся система знания о мире.

Четвертая научная революция происходит в современную эпоху, начиная с последней трети XX в. В ходе этой научной революции рождается новая, постнеклассическая наука. Характер научной деятельности меняется в связи с применением научных знаний практически во всех сферах социальной жизни, а также вследствие радикальных изменений в средствах хранения и получения знаний (компьютеризация науки, появление сложных приборных комплексов и т.д.). На передний план науки выдвигаются междисциплинарные и проблемно ориентированные формы исследовательской деятельности. Если классическая наука была ориентирована на постижение все более сужающегося, изолированного фрагмента действительности — предмета конкретной научной дисциплины, то специфику современной науки определяют комплексные исследовательские программы, в которых принимают участие специалисты из различных областей знания. Кроме того, в процессе определения исследовательских приоритетов наряду с собственно познавательными целями все большую роль начинают играть цели экономического и социально-политического характера.

В настоящее время усиливаются процессы взаимодействия частных картин мира, они становятся взаимозависимыми и предстают как фрагменты целостной общенаучной картины мира. На ее развитие оказывают влияние и достижения фундаментальных наук, и результаты междисциплинарных прикладных исследований. В их рамках приходится

сталкиваться со сложными системными объектами, которые в отдельных дисциплинах обычно изучаются лишь фрагментарно, поэтому эффекты, обусловленные их системностью, могут быть обнаружены только при синтезе фундаментальных и прикладных задач в проблемно ориентированном поиске.

Объектами современных междисциплинарных исследований все чаще становятся открытые и саморазвивающиеся системы, что начинает определять характер современного, постнеклассического естествознания. Ориентация современного естествознания на исследование сложных, развивающихся систем приводит к трансформации идеалов и норм исследовательской деятельности. Историчность комплексного объекта и изменчивость его поведения предполагают построение возможного поведения системы в точках бифуркации (раздвоения). В естествознание начинает внедряться идеал исторической реконструкции, причем не только в дисциплинах, традиционно изучающих эволюционные объекты (геология, биология, география), но и в современной космологии и астрофизике. Например, современные модели, описывающие развитие такого уникального объекта, как Метагалактика, могут быть расценены как исторические реконструкции, посредством которых воспроизводятся основные этапы его эволюции.

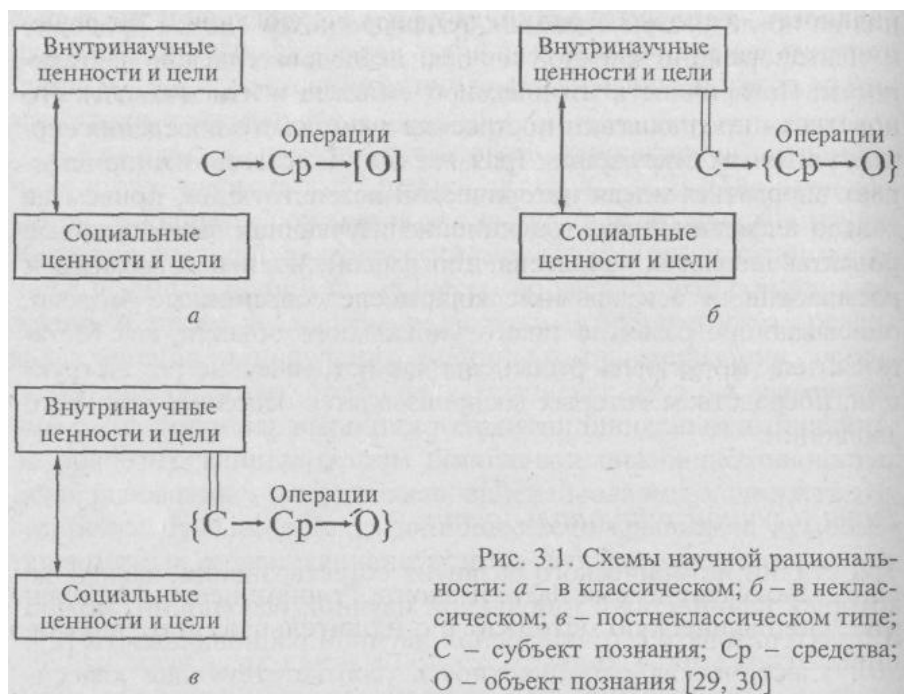
Типы научной рациональности

Три стадии исторического развития естествознания, каждая из которых начинается с глобальной научной революции, можно охарактеризовать с точки зрения научной рациональности [29, 30]: классическая рациональность (соответствующая классической науке в двух ее состояниях - додисциплинарном и дисциплинарно организованном); неклассическая рациональность (соответствующая неклассической науке) и постнеклассическая рациональность. Они взаимно «перекрываются», причем появление каждого нового типа рациональности не отбрасывает предшествующего, а только ограничивает сферу его действия, обуславливая его применимость только к определенным типам проблем и задач.

Классический тип научной рациональности (рис. 3.1, а), концентрируя внимание на объекте, стремится при теоретическом объяснении и описании исключить все, что относится к субъекту, средствам и операциям его деятельности, рассматривая это как необходимое условие получения научного знания.

Неклассический тип научной рациональности (рис. 3.1, б) учитывает связи между знаниями об объекте и характером средств и операций деятельности, причем выявление этих связей рассматривается в качестве условия научного описания и объяснения мира. Связи между внутринаучными и социальными ценностями и целями все еще не служат предметом научного осмысления, хотя опосредованно они определяют характер знаний и то, что именно и каким способом следует выделять и осмысливать в мире.

Постнеклассический тип рациональности (рис. 3.1, в) расширяет поле осмысления деятельности, учитывая соотношенность получаемых знаний об объекте не только с особенностью средств и операций деятельности, но и с ценностно-целевыми структурами. Причем анализируется связь внутринаучных целей с вненаучными, социальными ценностями и целями.



Каждый новый тип научной рациональности характеризуется особыми, свойственными ему основаниями науки, которые позволяют выделить в мире и исследовать соответствующие типы системных объектов (простые, сложные, саморазвивающиеся системы). При этом возникновение нового типа рациональности и нового образа науки не приводит к исчезновению представлений и методологических установок предшествующего этапа. Между ними существует преемственность. Так, неклассическая наука не уничтожила классическую рациональность, а только ограничила сферу ее действия. При решении ряда задач неклассические представления о мире и познании оказывались избыточными и исследователь мог ориентироваться на традиционно классические образцы (например, при решении некоторых задач небесной механики не привлекают нормы квантово-релятивистского описания). Точно так же становление постнеклассической науки не стало причиной уничтожения всех представлений и познавательных установок неклассического и классического исследований.

§ 3.4. История отраслей естествознания

Относительно истории развития различных отраслей естествознания опубликовано достаточно много работ (некоторые из них были использованы при написании этого параграфа и приведены в списке в конце этой главы). Представим основные этапы развития отраслей естествознания, каждая из которых сложилась как система наук, имеющих свой объект исследований, специфическую методологию и длительную историю становления.

Физика

Физика — наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, а также законы ее движения. В развитии физических представлений выделяют несколько периодов.

Период от древнейших времен до начала XVII в. можно считать предысторией физики, когда происходило накопление физических знаний об отдельных явлениях природы, возникали отдельные учения, а представления о природе объяснялись на основе умозрительных философских принципов. В VI-IV вв. до н.э. науку стали отличать от других форм познания, были созданы образцы построения научного знания. Именно тогда Аристотель разработал формальную логику — науку о способах доказательств и опровержений, а также отделил физику (науку о природе) от метафизики (философии),

математики и т.д. Важнейшим фрагментом античной научной картины мира стало геоцентрическое учение о мировых сферах (теория движения планет вокруг неподвижной Земли), получившее завершённую форму у К. Птолемея. Заметим, что в античные времена Аристархом Самосским высказывались предположения о том, что не Земля, а Солнце находится в центре Вселенной. Однако его взгляды не были поддержаны учеными того времени и о них надолго забыли. Значимой для последующего развития физики была концепция, выдвинутая в античное время, о дискретности (прерывности) строения материи - атомизм (Демокрит, Левкипп, Лукреций, Эпикур), согласно которой все тела состоят из атомов — мельчайших неделимых частиц.

В VI—XIV вв. продолжается накопление разрозненных физических фактов и появляется ряд общих представлений о природных явлениях. В XV в. Николай Кузанский развивал мысль о том, что движение является основой всего сущего, Вселенная бесконечна и в ней нет неподвижного центра, а Земля и все небесные тела созданы из одной и той же первоматерии. В 1543 г. вышел в свет труд Н. Коперника «О вращении небесных сфер», содержащий изложение гелиоцентрической системы мира, а в 1584 г. Дж. Бруно публикует диалог «О бесконечности, Вселенной и мирах», где была высказана идея о бесконечности Вселенной и единстве законов природы, о существовании других планетных систем, кроме Солнечной, и т.д.

Период классической физики (XVII - начало XX в.). Физика как наука берет начало от Г. Галилея, который выдвинул в первой половине XVII в. идею об относительности движения, установил законы инерции и свободного падения и др., активно защищал гелиоцентрическую систему мира. Основным достижением физики XVII в. признано создание классической механики, связанное с формулировкой основных законов этой науки И. Ньютоном в 1687 г. Фундаментальное значение имело введение Ньютоном понятия состояния, которое стало одним из основных для всех физических теорий. Состояния систем тел в механике полностью определяются координатами и импульсами тел системы. Исходя из законов движения планет, установленных И. Кеплером, Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, с помощью которого удалось с достаточной точностью рассчитать движение Луны, планет и комет, объяснить приливы в океане. Им были впервые четко сформулированы классические представления об абсолютном пространстве как вместительнице материи, не зависящем от ее свойств и движения, и абсолютном равномерно текущем времени. Ньютон построил механистическую картину природы как завершённую систему механики. Важное достижение этого времени - понимание идентичности физических законов для всей Вселенной.

В 1860-х гг. Дж. Максвеллом формулируется теория электромагнитного поля, дальнейшее развитие которой привело к революционным изменениям в физике. Используя концепцию поля М. Фарадея, Максвелл выводит пространственно-временные законы электромагнитных явлений. Дальнейшее развитие этой теории привело к созданию электродинамической картины мира. На рубеже XIX и XX вв. происходят революционные открытия и изменения в физике (обнаружение сложного строения атома, явления радиоактивности и т.д.).

Период становления современной физики связывают с началом XX в. Переход от классической физики к современной характеризовался не только возникновением новых идей, открытием новых неожиданных фактов и явлений, но и преобразованием ее духа в целом, возникновением нового способа физического мышления, глубоким изменением методологических принципов физики. Она становится квантовой (М. Планк, Э. Резерфорд, Н. Бор); в 1920-1930-е гг. разработана квантовая механика — последовательная теория движения микрочастиц (Л. де Бройль, Э. Шрёдингер, В. Гейзенберг, В. Паули, П. Дирак). Одновременно (в начале XX в.) появилось новое учение о пространстве и времени — теория относительности (А. Эйнштейн), физика становится релятивистской (любая физическая картина мира относительна и связана с определенной системой отсчета).

Во второй половине XX в. происходит преобразование физики, связанное с познанием

структуры атомного ядра, свойств элементарных частиц (Э. Ферми, Р. Фейнман, М. Гелл-Манн и др.), конденсированных сред (Дж. Бардин, Л.Д. Ландау, И.Н. Боголюбов и др.). Физика стала источником новых идей, преобразовавших современную технику: ядерная энергетика (Н.В. Курчатов), квантовая электроника (Н.Г. Басов, А.М. Прохоров и Ч. Таунс), микроэлектроника, радиолокация и т.п. возникли и развились благодаря достижениям физики.

Химия

Химия — наука, изучающая свойства и превращения веществ, которые сопровождаются изменением их состава и строения.

Донаучный период. Человек использовал химические процессы, в результате которых образуются новые вещества, еще в доисторическую эпоху. Можно сказать, что человек выделился из животного мира тогда, когда провел первую химическую реакцию - зажег огонь, а далее начал применять его для приготовления пищи, в гончарном производстве, для обработки металлов. Другими химическими процессами, используемыми с древности, по-видимому, были брожение и скисание. Древние египтяне получали краски и косметические средства из минеральных веществ, умели добывать железо, выплавлять бронзу, красить ткани, изготавливать стекло и фарфор, имитировать драгоценные камни и золото.

Древнегреческие философы пытались понять и объяснить явления природы. Так, Аристотель выдвинул положение о том, что вещества, соединяясь, теряют свои индивидуальные качества, а новое вещество - это не смесь, а «тело», обладающее новыми, лишь ему присущими качествами.

Приблизительно в 300 г. н.э. египтянин Зосима составил 28-томную энциклопедию, которая охватывала все знания по химии как искусству взаимных превращений веществ, собранные за предшествовавшие 500-600 лет, и пользовалась популярностью вплоть до XVI в. Это положило начало развитию такого явления культуры, как алхимия, теоретической основой которой были взгляды Аристотеля об элементах природы и их взаимном превращении (трансмутации). Осуществляя превращения одних веществ в другие, алхимики не видели препятствий для реализации любых превращений, в том числе одних металлов в другие, в частности в золото. Алхимики выработали экспериментальный метод работы, проверяющий гипотезу. Они построили первые лаборатории - помещения, предназначенные для проведения научных исследований. В поисках «философского камня» алхимики открыли целый ряд веществ: этанол, многие соли, щелочи и, что особенно важно, сильные минеральные кислоты — серную и азотную, резко расширившие возможности химического воздействия на вещество.

Становление собственно химии охватывает три столетия - с XVI по XVIII в. Слепое экспериментирование сменяется изучением законов превращения веществ для практического их использования. Первой из химических отраслей стала ятрохимия, основанная в начале XVI в. швейцарцем Т. Парацельсом. Ятрохимики (в современных терминах) считали, что болезни возникают из-за нарушения течения химических процессов в организме и недостатка (или избытка) в нем тех или иных веществ, и предлагали соответствующие способы лечения. В этот же период развивается техническая химия.

С именем ирландского ученого Р. Бойля связывается полное освобождение химии от алхимии и ятрохимии. Он отбросил частичку «ал» в самом термине, ввел в практику определение химического элемента как составной части вещества, которую нельзя разложить на более простые части; положил начало химическому анализу, химии газов.

На рубеже XVII и XVIII вв. появилась первая общая химическая теория — теория флогистона (от греч. phlogiston -воспламеняемый, горючий), разработанная немецким химиком и врачом Э.Г. Шталем и основанная на том положении, что, чем больше флогистона содержит данное тело, тем более оно способно к горению. Теория Штала,

созданная для объяснения явлений горения, окисления и восстановления металлов, смогла стать основой для объяснения большинства наблюдаемых в то время химических явлений.

В середине XVIII в. теория флогистона стала подвергаться сомнению. М.В. Ломоносов сформулировал закон сохранения массы вещества в химических процессах и доказал его экспериментально. Он также выдвинул идею, согласно которой при нагревании металл соединяется, как он говорил, с частичками воздуха. Французский химик А. Лавуазье, изучая горение и обжиг металлов, выяснил роль кислорода в этих явлениях, разрушив тем самым теорию флогистона. Он также внес ясность в понятия химического элемента, простого и сложного вещества. Независимо от Ломоносова он экспериментально установил закон сохранения массы в химических реакциях и убедил в нем своих современников-химиков.

В конце XVII - середине XIX в. были открыты стехиометрические законы химии о количественных соотношениях между массами веществ, вступающих в химическую реакцию, что придало химии рациональный характер и способствовало подведению экспериментального фундамента под атомно-молекулярную гипотезу, а также позволило сформулировать правила составления химических формул и уравнений. Основными стехиометрическими законами считаются законы Авогадро о пропорциональности между плотностями газов или паров и молекулярными массами, объемных отношений Ж.Л. Гей-Люссака, кратных отношений Дж. Дальтона, эквивалентов И.В. Рихтера и У.Х. Волластона и др. Все эти законы были установлены экспериментально.

Использование количественных измерений, совершенствование химического эксперимента привели к окончательному утверждению атомно-молекулярных представлений о строении вещества. Эти представления утвердились в 1860-х гг., когда А.М. Бутлеров создал теорию строения химических соединений, показав, что не только состав, но и структура определяют свойства веществ, а Д.И. Менделеев открыл периодический закон. С конца XIX - начала XX в. важнейшим направлением химии стало изучение закономерностей химических процессов.

На современном этапе развития химии широко привлекается квантовая (волновая) механика для интерпретации и расчета химических параметров веществ и систем веществ; исследования химических процессов доведены до их перехода в предбиологические и биологические; разрабатывается теория химической эволюции; утверждаются факт отсутствия химических индивидов в чистом виде и необходимость описания веществ как составных частей систем веществ; признается неправомерность игнорирования качественных различий микро- и макроформ вещества, характерного для классического атомно-молекулярного учения. В прикладном отношении химия характеризуется активным использованием химических свойств веществ в практической деятельности людей. Причем химическая промышленность относится к числу отраслей, определяющих технический прогресс.

Геология

Геология — комплекс наук о составе, строении и истории развития земной коры и Земли.

Люди давно научились находить, добывать и использовать камни, глины, пески, руды ряда металлов, многие минералы, подземные воды. Первые сведения об элементах геологического знания относятся к *античности*. Эмпедокл выдвигает предположение о том, что внутри Земли находится огненно-жидкая масса, которая является причиной вулканических извержений и горячих источников. Аристотель считал, что Земля находится в состоянии непрерывного развития, и придавал большое значение текучим и подземным водам в изменении поверхности Земли; ему принадлежит одна из первых классификаций минералов и горных пород. Теофраст полагал, что найденные на суше гальки и раковины свидетельствуют о том, что ранее в этих местах существовало море. Размышления о внутренних и внешних процессах, происходящих на Земле, можно

встретить у Овидия, Геродота, Страбона и т.д.

В V-XVI вв. многие представления античного времени были отвергнуты. Считалось, что Земля создана в ее современном виде Богом, а событием, изменившим ее облик, признавался всемирный потоп. Центр научных исследований переместился на Восток. В X—XI вв. аль-Бируни и Ибн Сина (Авиценна) включали в круг своих научных интересов геологические явления. Особое внимание уделялось минералогии и горному делу. В середине XVI в. немецкий ученый Г. Агрикола обобщил опыт горно-металлургического производства.

В первой-половине XVII в. появляются цельные космогонические гипотезы (Р. Декарт, Г.Ф. Лейбниц), из которых пытались вывести основы геологических знаний (существование горных пород, минералов, слоев, складок, магмы и т.д.). (К числу космогонических разработок, появившихся позже, в XVIII в., относятся гипотезы Ж. Бюффона, И. Канта и П. Лапласа, О.Ю. Шмидта и др.) Земная поверхность, по Декарту, Лейбницу и Н. Стенону, сформировалась в результате обрушения частей земной коры в подземные пустоты; образовавшиеся понижения заливались водой и покрывались осадками. В отличие от них англичанин Р. Гук и итальянец А.Л. Моро полагали, что основная роль в формировании земной поверхности принадлежит внутренним процессам — землетрясениям и вулканическим извержениям. В середине XVII в. норвежский ученый М.П. Эшолт ввел термин «геология». Датчанин Стеной, живший в Италии, сформулировал два принципа, которые и сегодня рассматриваются как основные постулаты: нормальное залегание слоев, возникших в водных бассейнах путем осаждения, создает параллельные горизонтальные границы; слои, находящиеся внизу, возникли раньше верхних слоев. Нарушение нормального залегания вызвано движениями земной коры.

К середине XVIII в. геология сформировалась как специфическая система взглядов, сложился круг геологических задач и оформилась генетическая направленность исследований, связанная с попытками ответить на вопросы, каким образом возник и развивался тот или иной геологический объект, какие причины обусловили геологические явления. М.В. Ломоносов разделяет факторы изменения земной поверхности на внутренние и внешние, а причиной движений земной коры и вулканизма назвал «подземный жар», который вызывает поднятие толщ горных пород. В.М. Севергин составляет обширные сводки по минералогии и полезным ископаемым России. Шотландский ученый Дж. Геттон считал источником «подземного жара» расплавленные в глубоких недрах массы. История Земли, по Геттону, состоит из повторяющихся циклов: длительные эпохи разрушения материков, сопровождавшиеся отложением продуктов этого разрушения на морском дне, сменяются кратковременным поднятием морского дна, а также внедрением и излиянием вулканических пород. Немецкий ученый А.Г. Вернер придавал гораздо большее значение внешним процессам, прежде всего деятельности воды. Все горные породы он рассматривал как водные осадки. Научное направление Вернера называли нептунизмом (по имени римского бога подводного царства Нептуна), направление Геттона — плутонизмом (по имени греческого бога подземного царства Плутона). Заметим, что уже в Древней Греции некоторые философы считали основной стихией воду, а другие — огонь.

В первой половине XIX в. англичанин У. Смит установил, что возраст осадочных горных пород может сопоставляться по заключенным в них остаткам ископаемых организмов. Это привело к спорам о причинах смены фаун и флор в истории Земли. Ж.Б. Ламарк полагал, что от слоя к слою под влиянием изменения внешней среды постепенно вымирают одни организмы и появляются другие. Напротив, Ж. Кювье обращал внимание на резкие изменения фауны и флоры на границах слоев и объяснял их резкими перестройками в устройстве земной поверхности, приводившими к исчезновению одних видов животных и растений и появлению других. Не признавая превращения одних видов в другие, он выдвигал идею о многократном повторении актов творения живых организмов Богом

после каждой геологической катастрофы.

В 1830-е гг. шотландский геолог Ч. Лайель применил метод актуализма, выразив его в формуле «Настоящее есть ключ к познанию прошлого». Он считал, что силы, преобразующие лик Земли, на протяжении ее истории были однообразны по характеру и интенсивности. (Это положение получило название униформизма.) Эти силы действуют медленно и непрерывно, а суммирование таких изменений в течение геологического времени приводит к грандиозным преобразованиям Земли.

В конце XIX - начале XX в. геология превращается в комплексную науку, что связано с введением в нее физико-химических и математических методов исследований. Открытие радиоактивности повлекло за собой создание абсолютной геохронологии: радиоактивные изотопы стали использовать для определения возраста Земли и длительности отдельных периодов. В начале XX в. был предложен ряд гипотез о внутренних причинах формирования земной поверхности. Гипотеза дрейфа материков А. Вегенера (мобилизм) утратила свое значение, и в 1930-1950-е гг. доминирующее положение заняли концепции В.В. Белоусова и голландского ученого Р.В. ван Беммелена, которые исходили из примата вертикальных движений.

С середины XX в. на базе достижений геофизики и морской геологии происходит пересмотр взглядов на внутренние причины формирования земной поверхности, что обусловило возрождение мобилизма. Результатом этих открытий стало появление тектоники литосферных плит. Современные методы исследований позволили детально изучить строение земной коры и выявить неоднородность мантии. Новые возможности открыло усовершенствование методов изучения химического состава минералов и горных пород. Изучение поверхности Земли из Космоса выявило крупные глубинные структуры в строении земной коры. Исследование других тел Солнечной системы дает материал для суждения о ранних стадиях эволюции Земли. В геологических науках появляются новые направления исследований, связанные с глобальными проблемами человечества: ресурсопользование, экологическая геология и т.п.

Биология

Биология — система наук о живой природе, которая изучает различные проявления жизни.

Древние цивилизации накопили множество сведений о растениях и животных и одомашнили крупный рогатый скот, овец, свиней, собак и др. Египтяне, вавилоняне, индийцы, китайцы достаточно много знали о растениях и животных и применяли эти знания в медицине и сельском хозяйстве.

Античные врачи и философы предприняли первые систематические попытки познания живой природы. Так, Гиппократ дал описание строения человека и животных, а также указал на роль среды и наследственности в возникновении болезней. Аристотель разделил окружающий мир на четыре царства: неодушевленный мир, мир растений, мир животных и мир человека. Он полагал, что растения и животные, постепенно изменяясь, поднимались вверх по «лестнице природы», побуждаемые внутренним стремлением к более сложной и более совершенной организации. Аристотель выявил основные признаки млекопитающих, дал описание наружных и внутренних органов человека, способов размножения и образа жизни животных и т.д. Теофраст описал 500 видов растений, собрал сведения о строении и размножении многих из них, выявил различия между однодольными и двудольными растениями. Во II в. римский врач Клавдий Гален широко использовал вскрытия млекопитающих для изучения их внутреннего строения. Он дал сравнительно-анатомическое описание человека и обезьяны, сделал ряд важных открытий, касающихся функций головного мозга и нервов.

В средние века накопление биологических знаний диктовалось в основном интересами медицины. Вскрытия человеческого тела были запрещены, преподававшаяся по Галену анатомия была в первую очередь анатомией животных. На Руси сведения о животных и

растениях были обобщены в «Поучении Владимира Мономаха» (XI в.). Биологические знания того времени были отражены в энциклопедии XIII в. немецкого философа и теолога Алберта Великого. Великие географические открытия XV - середины XVII в. существенно расширили знания о животных и растениях, накопленный материал требовал осмысления. На рубеже XV-XVI вв. Леонардо да Винчи открыл явление сходства органов, нарисовал многие растения, птиц в полете, описал способ соединения костей в суставах, деятельность сердца и зрительную функцию глаза и т.д. Однако многие его наблюдения стали известны намного позже, когда были расшифрованы записи в его тетрадях. В XVI в. был совершен прорыв в познании анатомии человека. Бельгиец А. Везалий, живший в Италии, начал вскрывать человеческие трупы. Он дал научное описание всех органов и систем человека. В это же время появляются новые работы, посвященные зоологии и ботанике.

В XVII-XVIII вв. в биологию проникают экспериментальные методы. В 1628 г. У. Гарвей на основе количественных измерений и применения законов гидравлики открыл механизм кровообращения. Изобретение микроскопа раздвинуло границы мира живых существ, углубило представление об их строении. Р. Гук обнаружил «клетки» на срезе пробки; А. ван Левенгук начиная с 1673 г. увидел и зарисовал сперматозоиды человека, бактерии, простейших и ядра в клетках крови и т.д. М. Мальпиги увидел капилляры, соединяющие артерии с венами. Одно из главных достижений этой эпохи - создание К. Линнеем в 1735 г. классификации растений и животных. Он вводит четырехчленное таксономическое деление: класс - отряд - род - вид; классифицирует животных на шесть классов (млекопитающие, птицы, амфибии, рыбы, насекомые, черви); человека и человекообразных обезьян относит к приматам. Линней последовательно применил бинарную номенклатуру (с использованием двух наименований - родового и видового), которая позволила дать каждой форме животных и растений определенное научное название.

Вместе с тем в это время преобладали умозрительные теории о развитии и свойствах живых существ (самозарождения и др.). Так, в качестве объяснения процессов развития признанием пользовалась теория преформации, согласно которой яйцо (или сперматозоид) содержит все структуры взрослого организма, а развитие сводится к «развертыванию» уже сформированных зачатков. При этом шел спор о том, находятся ли все части зародыша в яйце, а сперматозоиды просто паразиты, обитающие в семенной жидкости, или же все структуры расположены в сперматозоиде, а яйцо - питательная среда для их развития. Противоположное представление о данной проблеме выдвинул в середине XVIII в. К. Вольф. Исследуя развивающееся куриное яйцо, он пришел к выводу, что оно содержит не реформированного зародыша, а только материал, из которого ему предстоит образоваться. Его концепция получила название эпигенетической.

В XIX в. в результате резко возросшего числа изучаемых биологических объектов (новые методы, экспедиции в разные районы Земли и др.) сформировались многие специальные биологические науки. В первой половине XIX в. К.М. Бэр обратил внимание на то, что на ранних стадиях развития строение зародышей очень сходно у всех представителей любой обширной группы (типа) животных. Позднее Э. Геккель по-новому истолковал закон Бэра и назвал его биогенетическим законом, выразив его сущность словами «онтогенез повторяет филогенез», т.е. организмы в процессе индивидуального развития обнаруживают тенденцию проходить ту же последовательность стадий, которую они прошли в ходе своей эволюции. Другое достижение того времени - формулировка Т. Шванном (1839) основных положений об образовании клеток и клеточном строении всех организмов. Крупнейшим завоеванием XIX в. стало эволюционное учение Ч. Дарвина, изложенное в книге «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859), где он вскрыл механизм эволюционного процесса.

В 1865 г. Г. Мендель обнаружил закономерности наследственности, которые впоследствии вместе с мутационной теорией Х. Де Фриза легли в основу генетики.

В XX в. была выяснена роль в эволюции мутационного процесса, колебаний численности и изоляции при направленном действии отбора (1920-1930-е гг.). Это позволило в дальнейшем разработать синтетическую теорию эволюции. Установление структуры ДНК американцем Дж. Уотсоном и англичанином ф. Криком (1953) привело к раскрытию генетического кода, дало резкий толчок развитию молекулярной биологии, а позднее генетической инженерии и биотехнологии. К числу крупнейших достижений первой половины XX в. относят создание биогеохимии и учения о биосфере (В.И. Вернадский), биогеоценологии (В.Н. Сукачев), учения об экосистемах (А. Тенсли). На основе этих учений до настоящего времени разрабатывается стратегия взаимоотношений человечества с природой. В. Шелфорд, Ч. Элтон и др. разработали основы экологии — науки о взаимосвязи между организмами и окружающей средой.

Современной биологии свойственно взаимопроникновение идей и методов различных биологических дисциплин, а также других наук. Возникли новые биологические дисциплины на границах смежных наук, во многом в связи с практическими потребностями (радиобиология, космическая биология, физиология труда, социобиология и др.). Для современной биологии характерны две тенденции. С одной стороны, сформировалось представление о различных уровнях организации живой природы: молекулярном, клеточном, организменном, популяционно-видовом. С другой стороны, стремление к целостному познанию живой природы привело к прогрессу наук, изучающих определенные свойства живой природы на всех структурных уровнях ее организации.

География

География - наука, изучающая поверхность Земли, а также облегающие и подстилающие ее слои вещества, которые в совокупности составляют географическую оболочку. Центральным вопросом географии является выяснение взаимоотношений в системе природа — общество.

Зачатки географического знания встречаются у первобытных людей, когда возникают примитивные способы активного приспособления к среде обитания. Требовалось умение находить места, богатые дичью, ягодами и т.д. Значение таких умений возросло после того, как люди занялись скотоводством и земледелием. Возникла необходимость поиска удобных пастбищ и мест, где можно устроить поле. Несколько позднее (в Древнем Вавилоне, Египте и Китае) стимулом накопления географических знаний стали торговля и военные походы. Необходимо было описание новых земель и выяснение сухопутных и морских путей сообщения.

Древние греки и римляне (VI в. до н.э. - IV в. н.э.) во время морских и сухопутных путешествий описывали все, что встречали в пути: население, животных, растения, реки. Завоевание соседних территорий, организация колоний, установление торговых отношений расширяли границы известного мира. Появляются собственно географические идеи: Фалес размышлял о кругообороте воды на Земле; Анаксимен считал, что состояние воздуха определяет погоду; Аристотель выделил как единое целое атмосферу, включив в нее гидросферу, в пределах которой происходит круговорот воды. Парменид и Пифагор высказали идею о шарообразности Земли, Аристотель привел доказательства этого (круглая тень на Луне во время затмения, расширение горизонта при подъеме на гору и др.), а Эратосфен достаточно точно определил размеры Земли. Он же составил карту Земли, нанеся на нее параллели и меридианы, выделил территории с разной продолжительностью дня и т.д. На то, что некоторые участки суши были когда-то морским дном, указывал Страбон и другие мыслители античности. Большое количество сведений об Индии, Сахаре собрал и систематизировал Геродот. В это время появляются представления о тепловых поясах Земли.

В средние века многие достижения античности были отвергнуты. Достижения географии в V—XV вв. сводятся к территориальным открытиям. Заметную роль в развитии географии Средневековья сыграли арабы, которые торговали со странами

Средиземноморья, Востока и Северной Африки. Ибн Хордабех, Ибн Сина (Авиценна), аль-Бируни и другие арабские ученые сохранили для потомков многие идеи античного мира и внесли большой вклад в страноведческие исследования. Среди путешественников Средневековья следует назвать Марко Поло, который собрал данные о географическом положении отдельных территорий, особенно о восточном побережье Азии. В XII-XV вв. русскими землепроходцами осваивались Европейский Север и Северо-Западная Сибирь. В хрониках и летописях приводятся сведения о землетрясениях, ливнях и крупном граде, бурях, половодьях и т.д.

Интервал с середины XV по середину XVII в. - *эпоха Великих географических открытий*: открыта Америка (Х. Колумб, А. Веспуччи и др.), путь в Индию вокруг Африки (В. да Гама), совершено первое кругосветное путешествие (Ф. Магеллан), положено начало систематическим открытиям в Сибири (Ермак). Значение Великих географических открытий в истории человечества огромно. Они ознаменовали новую эру в исследовании Земли, дали толчок к развитию многих областей естествознания, способствовали интенсификации мировой торговли. Кругосветные путешествия позволили доказать опытным путем шарообразность Земли и представить соотношение суши и Мирового океана. На основе этих открытий были составлены достаточно подробные карты и атласы (Г. Меркатор, А. Ортелиус и др.). В России написана «Книга большому чертежу» — описание крупнейшей (несохранившейся) карты России XVII в. С XVII в. русские землепроходцы продвигаются на восток (Е.П. Хабаров, С.И. Дежнёв, В. Беринг и др.); составлена «Чертежная книга Сибири» (С.У. Ремезов).

В XVIII—XIX вв. в Европе и России работали крупные географы. Многие для развития отечественной географии XVIII в. сделали В.Н. Татищев и М.В. Ломоносов. Последний рассмотрел происхождение черноземов, выделил горообразовательные и медленные колебания суши и морского дна, способствовал развитию метеорологии. В конце XVIII в. проведено Генеральное межевание России, описаны все земли, принадлежащие различным землевладельцам; был обобщен огромный фактический материал. Великий философ И. Кант читал курс физической географии в Кенигсбергском университете. Немецкий ученый А. Гумбольдт разработал сравнительно-географический метод; исследовал закономерности зональности в распределении растительности, температур, влажности воздуха и т.д. Немецкий географ К. Риттер предложил метод сравнительного землеведения, объяснял пространственные взаимоотношения между географическими объектами, количественно оценивал географическое положение, конфигурацию стран и областей Земли и т.д. Француз Э. Реклю, подчеркивая взаимосвязь географии и истории, охарактеризовал все страны мира.

В первой половине XIX в. произошло открытие Антарктиды (Ф.Ф. Беллинсгаузен и М.П. Лазарев); в Европе образовано несколько географических обществ, в том числе Русское географическое общество; в европейских университетах стали организовываться кафедры географии. Во второй половине XIX в. проведены исследования по выявлению рельефа дна Мирового океана (Ч. Томсон, Д. Меррей); Н.Н. Миклухо-Маклай изучал коренное население Юго-Восточной Азии, Австралии и Океании. В Военной академии Генерального штаба начинают читать военную географию. Выпускниками этой академии были Н.М. Пржевальский и А.А. Тилло. В 1864 г. выходит книга Дж.П. Марша «Человек и природа», которая считается первой специальной работой, посвященной проблемам охраны окружающей среды. Большое влияние на развитие географии оказали эволюционные взгляды. Важным событием стала публикация идей американского ученого В.М. Дэвиса (1890), который сформулировал теорию географических циклов развития рельефа суши как смену стадий юности, зрелости и старости. В конце XIX в. Д.Н. Анучин сформировал отечественную научную школу в Московском университете. Основным объектом географии он считал поверхность Земли в ее развитии, а главной ее задачей - изучение пространственных отношений. В Петербургском университете в это время работают В.В. Докучаев и А.И. Воейков. Докучаев создал генетическое почвоведение;

показал, что почвы являются результатом взаимодействия различных факторов (почва — «зеркало ландшафта»); разработал учение о зонах природы как об универсальном законе. Воейков считается основателем отечественной метеорологии.

В первой половине XX в. происходит усиление интереса к изучению природных ресурсов; начинаются широкомасштабные исследования Арктики. Большое значение для географии имели исследования Н.И. Вавилова, которому удалось организовать ботанико-агронOMICеские экспедиции в Средиземноморье, Северную Африку, Северную и Южную Америку; установить древние очаги формообразования культурных растений и т.д. В середине XX в. была обнаружена система срединно-океанических хребтов протяженностью свыше 60 000 км и глубоководных желобов (Б. Хейзен, Г. Менард, Д.Л. Безруков и др.).

Для современной географии характерны: комплексное изучение природных территориальных комплексов; усиление позиций количественного подхода; развитие эволюционно-хронологического направления исследований; детальный анализ процессов в географической оболочке; использование системного подхода и модельных представлений, а также дистанционных методов исследований (получение информации с помощью сенсоров, установленных на самолетах, космических аппаратах и т.д.); развитие геоинформационных технологий; геоэкологическая направленность исследований.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Охарактеризуйте презентистскую и антикваристскую традиции изучения истории науки. Следует ли использовать обе эти традиции? Объясните, почему не следует (или следует) это делать.

2. Какие модели развития науки вы знаете? Перечислите их и кратко охарактеризуйте.

3. В чем заключается основная идея кумулятивной модели развития науки? Что такое закон трех стадий О. Конта? Какое значение этот закон сыграл в становлении кумулятивной модели развития науки?

4. Каково основное содержание концепции развития науки Т. Куна? Что такое парадигма, нормальная наука, научная революция?

5. Как представляется развитие науки по И. Лакатосу? Что такое научно-исследовательская программа, жесткое ядро программы, негативная и позитивная эвристика?

6. Что такое «кейс стадис»? Как организовано исследование исторических событий в рамках этой модели?

7. Какое значение имеют традиции и новации в развитии науки? Что такое явные и неявные традиции? Чем отличается незнание от неведения?

8. Когда и почему возникла наука? Как изменялись ее функции? Перечислите основные этапы изменения этих функций.

9. Какие научные революции Нового и новейшего времени выделяет В.С. Степин? Как менялись типы научной рациональности в связи с этим?

10. Каковы основные этапы развития физики (химии, геологии, биологии, географии)?

11. Найдите общие черты и отличия развития различных отраслей естествознания. С чем, по вашему мнению, связаны эти различия и сходства?

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов А. Краткая история биологии. М., 1967.
2. Белоусов В.В. Очерки истории геологии (геология до конца XVIII века). М., 1993.
3. Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956.
4. Блок М. Апология истории. М., 1986.
5. Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. М., 1981.
6. Голубчик М.М., Евдокимов С.П., Максимов Г.Н. История географии. Смоленск, 1998.

7. *Грегори К.* География и географы. М., 1988.
8. *Дитмар А.Б.* География в античное время. М., 1980.
9. *Дорфман Я.Г.* Всемирная история физики. М., 1974-1979. Т. 1—2.
10. *Исаченко А.Г.* Развитие географических идей. М., 1979.
11. *История биологии с древнейших времен до начала XX в.* М., 1972.
12. *История биологии с начала XX века до наших дней.* М., 1975.
13. *Косарева Л.М.* Рождение науки Нового времени из духа культуры. М., 1997.
14. *Краткая географическая энциклопедия /Под ред. А.А.Григорьева: В 5 т.* М., 1960—1966.
15. *Кудрявцев П.С.* История физики. М., 1948-1971. Т. 1—3.
16. *Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н.* Естествознание. М., 1996.
17. *Кун Т.* Структура научных революций. М., 1975.
18. *Лакатос И.* Методология научных исследовательских программ //Вопросы философии. 1995. № 4.
19. *Лункевич В.В.* От Гераклита до Дарвина. Очерки по истории биологии. 2-е изд. М., 1960. Т. 1—2.
20. *Магидович И.П.* Очерки по истории географических открытий. М., 1967.
21. *Никулинский С.Р.* Очерки развития историко-научной мысли. М., 1988.
22. *Мир географии: География и географы.* М., 1984.
23. *Мукитанов Н.К.* От Страбона до наших дней. М., 1985.
24. *Найдыш В.М.* Научная революция и биологическое познание: философско-методологический анализ. М., 1987.
25. *Поликарпов В.С.* История науки и техники. Ростов н/Д, 1999.
26. *Поппер К.* Логика и рост научного знания. М., 1983
27. *Резанов Н.А.* История взаимодействия наук о Земле. М., 1998.
28. *Соловьев Ю.И.* История химии. М., 1976.
29. *Степин В.С.* Философия науки. М., 2003.
30. *Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А.* Философия науки и техники. М., 1996.
31. *Структура и развитие науки.* М., 1978.
32. *Фигурновский Н.А.* История химии. М., 1979.
33. *Физический энциклопедический словарь.* М., 1960-1966. Т. 1—5.
34. *Философия и методология науки /Под ред. В.И. Купцова.* М., 1996.
35. *Фонта Я., Новы Л.* История естествознания в датах. М., 1987.
36. *Фролов И.Т.* Философия и история генетики. М., 1988.
37. *Хаин В.Е., Рябухин А.Г.* История и методология геологических наук. М., 1997.
38. *Храмов Ю.А.* Физики: Биографический справочник. М., 1983.
39. *Хэллем Э.* Великие геологические споры. М., 1985.

Глава 4

СИСТЕМНОСТЬ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

§ 4.1. Системный подход

Системность и уровни системности труда

Особенностью современного естествознания является осознанное внедрение идей системности во все его отрасли. Системность реализуется в рамках системного подхода, т.е. исследований, в основе которых лежит изучение объектов как сложных систем. Разработкой системных идей занимается системный анализ (специальная синтетическая наука, в центре которой находится изучение сложных систем). Особый вклад системного анализа, а более широко и системного подхода, в решение различных проблем обусловлен тем, что он позволяет, во - первых, выявить те факторы и взаимосвязи, которые могут

оказаться весьма существенными; во-вторых, видоизменять методику наблюдений и эксперимент таким образом, чтобы включить эти факторы в рассмотрение; в-третьих, осветить слабые места гипотез и допущений. Системный анализ с его акцентом на проверку гипотез посредством экспериментов и строгих выборочных процедур - мощный инструмент гибкого, но строгого исследования сложных явлений.

Вероятно, мышление и процесс познания всегда были системными, хотя и неосознанно. Представления о системности отражены в привычных для нас оборотах речи: «Солнечная система», «нервная система», «система уравнений», «общественно-политическая система», «система взглядов и убеждений», «отопительная система». Важной предпосылкой перехода на уровень осознанной системности и разработки системного подхода послужило появление новых задач в естествознании, связанных с изучением организации и функционирования сложных объектов, а также оперированием системами, границы и состав которых не столь очевидны.

В настоящее время общепризнано, что системные представления полезны и важны в решении проблем в различных сферах деятельности. Однако часто исследователи, назвав объект системой и декларируя использование системного подхода, строят свое изучение на обычной, традиционной для конкретной области основе. Исследование будет осознано системным при выполнении требований системной методологии, вырабатываемой в рамках системного подхода.

Для того чтобы осознать необходимость системности во всех отраслях человеческой деятельности, обратимся к практической деятельности человека, рассмотрев последовательное формирование трех уровней системности труда: механизацию, автоматизацию и кибернетизацию. Каждый из этих уровней, надстраиваясь на предыдущем, включает его в себя и не отменяет его полностью [22].

Механизация - простейший способ повышения эффективности труда. С помощью механизмов и машин один человек выполняет физическую работу, посильную многим людям. Механизация, позволяя решать многие проблемы, однако, имеет естественный предел - работой механизмов управляет человек, а его возможности ограничены физиологически: лопату нельзя делать слишком широкой; машина не должна иметь слишком много индикаторов и рычагов управления и т.д.

Решение проблемы состоит в том, чтобы исключить участие человека из конкретного производственного процесса, т.е. возложить на машины выполнение не только самого процесса, но операций по его регулированию. *Автоматизация* — способ повышения производительности труда с помощью автоматов, т.е. технических устройств, реализующих указанные две функции. В жизнь вошли торговые и игровые автоматы, автоматическая телефонная связь, в промышленности функционируют автоматические линии, цеха и заводы, развивается промышленная и транспортная робототехника. Большие возможности представляют перестраиваемые, многофункциональные автоматы, управляемые компьютерами.

Однако автоматизировать можно только те работы, которые хорошо изучены, подробно и полно описаны, о которых точно известно, что, в каком порядке и как надо делать в каждом случае, точно известны все возможные случаи и обстоятельства, в которых может оказаться автомат. Автомат реализует определенный алгоритм, который в какой-то своей части может быть неправилен или неточен либо не предусматривает всех возможных ситуаций; в этих случаях автомат не соответствует целям его создания.

Такие проблемы возникают в процессе руководства человеческими коллективами, при проектировании, эксплуатации и управлении крупными техническими комплексами, при вмешательстве (например, медицинском) в жизнедеятельность человеческого организма, при воздействии человека на природу, т.е. в тех случаях, когда приходится сталкиваться с неформализуемостью процессов, происходящих в системе, и непредвиденностью некоторых внешних условий.

Кибернетизация — совокупность способов решения возникающих при этом проблем -

третий уровень системности практической деятельности человека. Кибернетика первой стала претендовать на научное решение проблем управления сложными системами. Поэтому, когда автоматизация (т.е. формальная алгоритмизация) невозможна, следует использовать человеческий интеллект, т.е. способность ориентироваться в незнакомых условиях и находить решение слабо формализованных задач. При этом человек выполняет операции, которые не поддаются формализации: экспертная оценка или сравнение неколичественных вариантов, взятие на себя ответственности и т.д. На таком принципе строятся автоматизированные (в отличие от автоматических) системы управления, в которых формализованные операции выполняют автоматы и компьютеры, а неформализованные операции - человек. Дальнейший путь кибернетизации обычно связывают с попытками хотя бы частично смоделировать интеллектуальные возможности человека.

Свойства и классификация систем

Центральное место в системном подходе занимает понятие «система». Поэтому разные авторы, анализируя это понятие, дают определения системы с различной степенью формализации, подчеркивая разные ее стороны [29]. Мы определим *систему как совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих некую целостность*.

Системам независимо от их природы присущ ряд свойств [30]:

◇ *целостность* — принципиальная несводимость свойств составляющих ее элементов и невыводимость из последних свойств целого, а также зависимость каждого элемента, свойства и отношения системы от его места внутри целого, функции и т.д. Например, ни одна деталь часов отдельно не может показать время, это способна сделать лишь система взаимодействующих элементов. Появление у системы специфических свойств, не присущих ни одному элементу, называется эмерджентностью;

◇ *структурность* - возможность описания системы через установление ее структуры или, проще говоря, сети связей и отношений системы. Структурность также подразумевает обусловленность свойств и поведения системы не столько свойствами и поведением ее отдельных элементов, сколько свойствами ее структуры. Простейший пример: разные свойства алмаза и графита определяются различной структурой при одинаковом химическом составе;

◇ *взаимозависимость системы и среды*, выражающаяся в том, что система формируется и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, являясь при этом ведущим активным компонентом взаимодействия. Действительно, сложно что-либо сказать о некоторой системе, если она себя никак не проявляет;

◇ *иерархичность* систем, т.е. каждый компонент системы в свою очередь может рассматриваться как система, а исследуемая в конкретном случае система представляет собой один из компонентов более широкой системы. Например, живая клетка многоклеточного организма является, с одной стороны, частью более общей системы - многоклеточного организма, а с другой - сама имеет сложное строение и, безусловно, должна быть признана сложной системой;

◇ *множественность описания* системы, т.е. в силу принципиальной сложности каждой системы ее познание требует построения множества различных моделей, каждая из которых описывает лишь определенный аспект системы. Например, любое животное имеет части тела, которые могут рассматриваться как его элементы; это животное можно рассмотреть как совокупность скелета, нервной, кровеносной, мышечной и других систем; наконец, его можно проанализировать как совокупность химических элементов.

Известно большое количество классификаций систем [22, 30]. Так, системы можно разделить на материальные и абстрактные. *Материальные* системы представляют собой целостные совокупности материальных объектов и в свою очередь делятся на системы неорганической природы (физические, химические, геологические и др.) и на живые

(начиная с простейших биологических систем через организмы, виды, экосистемы к социальным системам). *Абстрактные* системы являются продуктом человеческого мышления. Это разного рода понятия, гипотезы, теории, концепции и т.д. По другому основанию можно разделить системы на *статические*, состояние которых в течение времени не меняется (например, газ в герметичной емкости и находящийся в равновесии), и *динамические*, состояние которых изменяется (земная кора, организм, биогеоценоз и т.д.). Еще одна классификация делит системы на *детерминированные*, в которых значение переменных системы в некоторый момент времени позволяет установить состояние системы в любой другой момент, и *вероятностные* (стохастические), в которых с определенной вероятностью можно предсказать направление изменения переменных. Классификация по характеру взаимоотношения системы и ее среды делит системы на *закрытые*, которые не ведут обмена со своей средой веществом и энергией; *полуоткрытые*, обменивающиеся только энергией, и *открытые*, которые обмениваются и энергией, и веществом.

Эволюция системных представлений

Многие исследователи полагают, что системность всегда, осознанно или неосознанно, была методом любой науки [22, 30]. Считается, что первые представления о системах возникли в античности. В трудах Евклида, Платона, Аристотеля, стоиков разрабатывались идеи системности знания, аксиоматического построения логики, геометрии. Представления системности бытия развивались в концепциях Б. Спинозы и Г.В. Лейбница, в научной систематике XVII—XVIII вв., стремившейся показать естественно-научную системность мира; примером такой систематики может служить классификация растений и животных К. Линнея. Принципы системной природы знания разрабатывались в немецкой классической философии. Так, согласно И. Канту, научное знание есть система, в которой целое главенствует над частями, Ф.В. Шеллинг и Г.В.Ф. Гегель трактовали системность познания как важнейшее требование диалектического мышления.

Первым в явной форме вопрос о научном подходе к управлению сложными системами поставил в 1834—1843 гг. *М.А. Ампер*, который выделил специальную науку об управлении государством и назвал ее кибернетикой. Почти в то же время польский философ *Б. Трентовский* начал читать курс лекций, изложенный им в книге «Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом». Трентовский ставил целью построение научных основ практической деятельности руководителя («кибернета»). Он подчеркивал, что управление будет действительно эффективным, если учитывает все важнейшие внешние и внутренние факторы, влияющие на объект управления. Главная сложность в управлении, по Трентовскому, связана с неопределенностью поведения людей. Он указывал, что общество, коллектив и сам человек - это система, единство противоречий, разрешение которых и есть развитие. Поэтому «кибернет» должен уметь, исходя из общего блага, одни противоречия примирять, другие - обострять, направляя развитие событий к нужной цели.

Общество середины XIX в. оказалось не готовым воспринять идеи кибернетики. Лишь в конце XIX в. системная проблематика снова появилась в поле зрения науки. На этот раз внимание было сосредоточено на вопросах структуры и организации систем. В 1890 г. *Е.С. Федоров* опубликовал свои выводы о том, что может существовать только 230 разных типов кристаллической решетки, хотя любое вещество при определенных условиях может кристаллизоваться. Безусловно, это открытие касалось прежде всего минералогии и кристаллографии, но его более общий смысл и значение отметил еще Федоров. Важно было осознать, что все невообразимое разнообразие природных тел реализуется из ограниченного и небольшого количества исходных форм. Это верно и для лингвистических устных и письменных построений, архитектурных конструкций, строения вещества на атомном уровне, музыкальных произведений, других систем. Развивая системные представления, Федоров выявил и некоторые закономерности

развития систем, в частности он установил, что главным средством жизнеспособности и прогресса систем является не их приспособленность, а способность к приспособлению («жизненная подвижность»), не стройность, а способность к повышению стройности.

Следующий шаг в изучении системности как самостоятельного предмета связан с именем *А.А. Богданова*, в 1913—1917 гг. опубликовавшего свою книгу «Всеобщая организационная наука (тектология)», где он высказал идею о том, что все существующие объекты и процессы имеют определенный уровень организованности [5]. В отличие от естественных наук, изучающих специфические особенности организации конкретных явлений, тектология должна изучать общие закономерности организации для всех уровней организованности, рассматривая все явления как непрерывные процессы организации и дезорганизации, исследовать закономерности развития организации, соотношения устойчивого и изменчивого, значение обратных связей и собственных целей организации (которые могут как содействовать целям высшего уровня организации, так и противоречить им), роль открытых систем. Богданов отмечал, что уровень организации системы тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей, и подчеркивал роль моделирования и математики как потенциальных методов решения задач тектологии. Он довел построения тектологии до рассмотрения проблемы кризисов, т.е. таких моментов в истории системы, когда неизбежна скачкообразная перестройка ее структуры.

Тот факт, что тектологией заинтересовались лишь в середине XX в., объясняется во многом сложностью судьбы Богданова. Будучи по образованию медиком, он всерьез заинтересовался философией и создал собственную философскую концепцию - эмпириомонизм. В.И. Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм» подверг его жесткой критике, после чего Богданов отошел от философии. В 1926 г. он создал первый в мире Институт переливания крови и стал его директором. Там он начал проверять некоторые выводы тектологии на примере кровеносной системы. Рискованные опыты по переливанию крови он проводил на себе, а один из опытов в 1928 г. закончился его гибелью.

Массовое усвоение системных понятий, осознание системности мира, общества и человеческой деятельности началось в 1948 г., когда американский математик *Н. Винер* опубликовал книгу «Кибернетика» [9]. Первоначально он определил кибернетику как «науку об управлении и связи в животных и машинах». Однако уже в следующей своей книге Винер анализирует с позиций кибернетики процессы, происходящие в обществе. Научное сообщество отреагировало на появление кибернетики неоднозначно, полагая, что одна дисциплина не может рассматривать одновременно технические, биологические, экономические и социальные объекты и процессы. Первый международный конгресс по кибернетике (Париж, 1956) принял предложение считать кибернетику не наукой, а «искусством эффективного действия». В нашей стране кибернетика была встречена особенно настороженно и даже враждебно. Однако по мере ее развития стало ясно, что кибернетика - это самостоятельная наука со своим предметом изучения и своими методами исследования. Так, по А.И. Бергу, кибернетика - это наука об оптимальном управлении сложными динамическими системами; по А.Н. Колмогорову, кибернетика - это наука о системах, воспринимающих, хранящих, перерабатывающих и использующих информацию. Эти определения признаны достаточно общими и полными.

Уже из самих определений ясно, что предметом кибернетики является исследование сложных систем. Более того, хотя при изучении системы требуется учет ее конкретных свойств, для кибернетики в принципе несущественно, какова природа этой системы, т.е. является ли она физической, биологической, экономической, организационной или даже воображаемой. В поле зрения кибернетики попадают объекты любой природы, как только выясняется, что это сложные системы. То, что методы кибернетики могут применяться при исследовании объектов, традиционно изучаемых другими науками, можно трактовать как рассмотрение этих объектов с другой точки зрения. Более того, при этом происходит

взаимное обогащение: кибернетика получает возможность развивать и совершенствовать свои модели и методы, а кибернетический подход к системе определенной природы позволяет прояснить некоторые проблемы данной науки, выдвинуть перед ней новые проблемы, а главное — содействовать повышению ее системности.

С кибернетикой Винера связаны такие достижения в развитии системных представлений, как типизация моделей систем, выявление особого значения обратных связей в системе и принципа оптимальности в управлении и синтезе систем, осознание информации как всеобщего свойства материи и возможности ее количественного описания, развитие методологии моделирования вообще и в особенности идеи математического эксперимента с помощью компьютера.

Параллельно и в определенной степени независимо от кибернетики развивается еще один подход к науке о системах - общая теория систем. В естествознании осознанная системность часто развивается именно на основе этого подхода. Идея построения теории, которая может быть использована в изучении систем любой природы, была выдвинута австрийским биологом *Л. фон Берталанфи*, опубликовавшим свои соображения в книге «Общая теория систем» в 1968 г. Один из путей реализации этой идеи он видел в том, чтобы отыскивать структурное сходство законов, установленных в различных дисциплинах, и, обобщая их, выводить общесистемные закономерности [4].

Важным достижением Берталанфи является введение понятия открытой системы. В отличие от винеровского подхода, где изучаются внутрисистемные обратные связи, а функционирование систем рассматривается как отклик на внешние воздействия, Берталанфи указал на особое значение обмена системы веществом, энергией и информацией (негэнтропией) с окружающей средой. В открытой системе устанавливается динамическое равновесие, которое может быть направлено в сторону усложнения организации (вопреки второму закону термодинамики, благодаря вводу негэнтропии извне), и функционирование является не просто откликом на изменение внешних условий, а сохранением старого или установлением нового подвижного внутреннего равновесия системы. Берталанфи и его последователи пытались придать общей теории систем формальный характер, но замысел построить общую теорию систем как новую логико-математическую дисциплину до сих пор не реализован полностью. Большую ценность общей теории систем имеет не столько ее математическое оформление, сколько разработка целей и задач системных исследований, развитие методологии анализа систем, установление общесистемных закономерностей.

Прогресс в области системности в исследовании систем связан с бельгийской школой во главе с *И. Пригожиным*. Развивая термодинамику неравновесных физических систем, он понял, что обнаруженные им закономерности характерны для систем любой природы [23]. Наряду с переоткрытием уже известных положений (иерархичность уровней организации систем; несводимость друг к другу и невыводимость друг из друга закономерностей разных уровней организации; наличие наряду с детерминированными случайными процессами на каждом уровне организации и др.) Пригожий предложил новую теорию системодинамики. Согласно его взглядам, материя не является пассивной субстанцией, ей присуща спонтанная активность, вызванная неустойчивостью неравновесных состояний, в которые рано или поздно приходит любая система в результате взаимодействия с окружающей средой. Важно, что в такие переломные моменты (особые точки, или точки бифуркации) принципиально невозможно предсказать, станет ли система менее организованной или более организованной (диссипативной, в терминологии Пригожина). После опубликования в 1978 г. (на русском - в 1980 г.) работы *Г. Хакена* «Синергетика» направление, занимающееся изучением сложных саморазвивающихся систем, стало называться синергетикой [31]. По Хакену, в рамках синергетики анализируется совместное действие отдельных частей неупорядоченной системы, результатом которого является самоорганизация системы.

Таким образом, наращивание системности знаний - постоянный процесс,

происходящий во всех областях человеческой деятельности. Осознанное использование системного подхода к изучению различных объектов и явлений, в том числе природных, в настоящее время развивается в рамках трех основных направлений — кибернетики, общей теории систем и синергетики. Попытки объединить все эти направления предпринимаются системным анализом. Обращаем внимание на специально ста ученых, стоявших в основании осознанной системности: Б. Трентовский - философ, Е.С. Федоров - геолог, А.А. Богданов — медик, Н. Винер — математик, Л. фон Берталанфи - биолог, И. Пригожин — физик; уже это говорит о всеобщности проблем системности.

§ 4.2. Модели и моделирование систем

Понятие модели и моделирования

Одна из характерных особенностей современного естествознания — его модельный характер, т.е. все объекты, явления и процессы описываются с помощью моделей. В определенном смысле расширение границ естествознания можно представить как построение более подходящих и совершенных моделей природы. Модельный характер естествознания связан и с тем, что значимость того или иного факта можно определить, лишь опираясь на какую-либо модель.

Понятие модели стало пониматься широко лишь в XX в. Вначале модель стала осознаваться как нечто универсальное в научных дисциплинах информационного, кибернетического, системного направлений, а позднее эта идея распространилась на всю науку. При этом понятие абстрактной модели не сводится к математическим моделям, а относится к любым знаниям и представлениям о мире [18, 20, 22, 30, 33].

Под моделью будем понимать вещественный или мысленно представляемый аналог определенного оригинала, подобный ему в существенных для конкретного исследования чертах. По сути модель является неким «заместителем» оригинала в познании и практике. Основные функции моделей - фиксация знаний и получение информации. Они служат для хранения и расширения знания или, как иногда говорят, информации об оригинале, конструирования оригинала, преобразования и управления им.

Моделированием называется исследование каких-либо явлений, процессов или систем путем построения и изучения их моделей, а также использование моделей для определения или уточнения характеристик и рационализации способов построения вновь конструируемых объектов.

Моделирование - одна из основных категорий теории познания. На идее моделирования по существу базируется любой метод научного исследования.

Моделирование является важным этапом целенаправленной деятельности, так как она ориентирована на реализацию образа желаемого будущего, т.е. модели состояния. Например, земледelec возделывает почву для того, чтобы произвести продукты питания; студент учится для того, чтобы приобрести профессию; ученые изучают природу для того, чтобы получить знания об окружающем мире. Любая деятельность осуществляется по определенному плану (алгоритму), который является образом будущей деятельности, т.е. ее моделью. При этом приходится оценивать текущий результат предыдущих действий и выбирать следующий шаг из многих возможных, в связи с чем необходимо сравнивать последствия всех возможных шагов, не выполняя их реально, другими словами, изучать их на модели. Кроме того, сама модель является целевым отображением, причем не самого по себе объекта-оригинала, а того, что в нем нас интересует, т.е. то, что соответствует поставленной цели. Поскольку модель - это целевое отображение, можно говорить о множественности моделей одного и того же объекта: для разных целей, как правило, требуются разные модели.

Классификация моделей

В зависимости от направленности моделирования (теоретическая или практическая)

модели можно разделить на познавательные и прагматические [22]. *Познавательные модели* являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. Поэтому при обнаружении расхождения между моделью и реальностью встает задача устранения этого расхождения путем изменения модели, так как познавательная деятельность ориентирована в основном на приближение модели к реальности, которую модель отображает. Примером здесь могут служить все усложняющиеся модели пространства и времени в естествознании.

Прагматические модели являются средством управления и средством организации практических действий, способом представления образцовых действий или их результата. При их использовании в случае обнаружения расхождений между моделью и реальностью усилия направляются на изменение реальности так, чтобы приблизить реальность к модели. Прагматические модели носят нормативный характер, выполняя функцию стандарта, образца, под которые «подгоняются» деятельность и ее результаты. Прагматические модели - это планы, алгоритмы и программы действий (например, по преобразованию ландшафта какой-либо территории) и т.д. Следовательно, познавательные модели стремятся отражать существующее, а прагматические - желаемое.

Модели также можно разделить на *статические* - модели конкретного состояния интересующего нас объекта - и *динамические* — когда возникает необходимость в отображении процесса изменений состояния. Например, в одних случаях нужны модели некоторого ландшафта в некоторый момент времени, а в других - модель сезонной смены его состояний; можно описать структуру кристалла алмаза, а можно рассмотреть процесс его формирования; можно характеризовать анатомию человеческого организма или построить модель его функционирования или развития.

Наибольшее распространение получила классификация моделей на абстрактные (мысленные, идеальные) и материальные (реальные, вещественные) в зависимости от способа их воплощения или реализации или на основании использования того или иного способа передачи информации, поскольку в распоряжении человека, создающего модель, имеются средства самого сознания и средства окружающего материального мира [30, 33].

Абстрактные, модели — идеальные конструкции, построенные средствами мышления, сознания. Для человеческого мозга важную роль играют неязыковые формы мышления: эмоции, бессознательное, интуиция, озарение, образное мышление, подсознание и т.п. К абстрактным моделям относятся лингвистические конструкции - продукт мышления, готовый или почти готовый для передачи другим носителям языка. Естественные языки являются универсальным средством построения абстрактных моделей, поскольку на них можно говорить практически обо всем, и, кроме того, языковые модели обладают неоднозначностью. Многозначность слов (например, «мало», «много», «несколько») наряду с многовариантностью их возможных соединений во фразы позволяет отобразить любую ситуацию с достаточной для обычных практических целей точностью. Для ситуаций, когда приблизительность естественного языка становится недостатком, вырабатывается специфический язык. Например, у северных народов имеется несколько десятков разных слов, обозначающих снег в различных состояниях; языковые модели различных естественно-научных отраслей более точны и содержат больше информации, чем естественные языки. Новые знания аккумулируются в новых моделях, и если старых языковых средств для их построения не хватает, то возникают еще более специализированные языки. Одним из специальных и достаточно универсальных языков науки является математика.

В общем случае мысленные модели, используемые в естествознании, можно разделить на образные, образно-знаковые и знаковые модели. К образным моделям относятся неформализованные мысленные представления, гипотетические построения, разного рода модели-анalogии и прочие модельные представления; например, утверждая, что Земля похожа на шар, мы выстраиваем образную модель; в более сложном виде — это словесное описание некоторой гипотезы, теории, концепции или парадигмы. Образно-знаковые

модели - разного рода схемы, графы, чертежи, графики - широко распространены в естествознании; так, в науках о Земле и астрономии большое значение имеет такой вид образно-знаковых моделей, как карты. Знаковыми моделями называют определенным образом интерпретированные системы. Наиболее важны в этой группе математические модели.

Материальные (реальные, вещественные) модели - некоторая материальная конструкция. Чтобы она могла быть отображением, т.е. замещала в каком-то отношении оригинал, между оригиналом и моделью должно быть установлено отношение схожести, подобия. В рамках материальных моделей по характеру подобия выделяют модели, построенные на принципе прямого и косвенного подобия; иногда выделяют модели условного подобия.

К построенным на основе *прямого подобия* относят пространственно и физически подобные модели. Пространственно подобные модели геометрически подобны оригиналу. Языком пространственно подобных моделей передаются наиболее общие черты формы объекта и соотношения определенных его частей. Например, фотографии, макет рельефа местности, масштабированные модели самолетов или гидротехнических сооружений, макеты зданий, шаблоны и т.п. Физически подобные модели обладают механическим, динамическим, кинематическим и другими видами подобия с оригиналом. Эти модели широко применяются во многих отраслях естествознания. Так, с их помощью изучают на небольших лабораторных установках деформации, происходящие в земной коре, формирование долин крупных рек, влияние еще не построенных гидроэлектростанций на окружающую среду и т.д.

Прямое подобие (геометрически и физически подобные модели) связано с проблемой переноса результатов моделирования на оригинал. Например, при изучении поведения русла реки на уменьшенной модели часть условий эксперимента можно привести в соответствие с натурой, изменяя масштабы модели (скорость течения, глубина потока, морфология русла), а часть условий (вязкость и плотность воды, сила тяготения, определяющие свойства волн, и т.д.) не может быть масштабирована. Задачами пересчета данных модельного эксперимента на реальные условия занимается теория подобия, которая позволяет перейти с использованием коэффициентов подобия от оригинала к модели и наоборот.

Косвенное подобие между оригиналом и моделью — аналогия — проявляется в совпадении или достаточной близости их абстрактных моделей и используется в практике реального моделирования. Наиболее известна электромеханическая аналогия, основанная на том, что некоторые закономерности электрических и механических процессов описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями, различающимися лишь физической интерпретацией переменных, входящих в эти уравнения. Поэтому можно не только заменить неудобное и громоздкое экспериментирование с механической конструкцией на простые опыты с электрической схемой, перепробовать множество вариантов, не переделывая конструкцию, но и проверить на модели варианты, в механике пока не осуществимые (например, с произвольным и непрерывным изменением масс, длин и т.д.). Роль моделей, обладающих косвенным подобием оригиналу, очень велика. Например, часы являются аналогом времени; подопытные животные у медиков - аналоги человеческого организма; автопилот — аналог летчика; электрический ток в подходящих цепях может моделировать течение воды в водоносном горизонте или в русле реки, а также транспортные потоки, перенос информации в сетях связи и т.д.

Модели *условного подобия* основаны на том, что подобие оригиналу устанавливается в результате соглашения. К ним причисляют различные географические карты и планы (модели местности), рабочие чертежи (модели будущей продукции), разнообразные сигналы (модели сообщений), деньги (модель стоимости), удостоверения личности (официальная модель владельца) и т.д. Данные модели являются вещественной формой, в которой абстрактные модели могут передаваться от одного человека к другому, храниться

до момента их использования на основе соглашения о том, какое именно состояние реального объекта ставится в соответствие конкретной абстрактной модели. Обычно эти соглашения формулируются в виде совокупности правил построения моделей условного подобия и правил пользования ими. (Заметим, что выше эти модели мы определяли как мысленные образно-знаковые. Это подчеркивает условность рассматриваемой классификации, а также широту охвата и многоплановость модельных представлений.)

Особенности моделей

Для того чтобы модель отвечала своему назначению, необходимо существование условий, обеспечивающих ее функционирование. Так, географическую карту можно понять, только зная значения тех условных обозначений, которые на нее нанесены; древнеегипетская клинопись не могла быть прочитана, пока не был найден камень, на котором текст был изображен и на забытом древнеегипетском языке, и на древнегреческом. Следовательно, для реализации своих модельных функций модель должна быть согласована со средой, в которой ей предстоит функционировать.

Главными различиями между моделью и действительностью являются *конечность, упрощенность и приближенность модели* [22]. Так, реальный мир бесконечен в своих проявлениях и связях. Однако бесконечный мир необходимо познавать конечными средствами, имеющимися в распоряжении человека. Это возможно именно в результате построения моделей. Так, А. Розенблют и Н. Винер отмечали, что частные модели являются единственным средством, выработанным наукой для понимания мира. Конечность мысленных моделей выражается в том, что они наделяются строго фиксированным количеством свойств. В вещественных моделях из множества свойств объекта-модели выбираются и используются лишь некоторые свойства, подобные свойствам объекта-оригинала.

Конечность моделей делает неизбежными их упрощенность и приближенность. Как правило, для достижения цели оказывается вполне достаточным неполное, упрощенное отображение действительности. Степень упрощения зависит от целей моделирования. Упрощение является важным средством для выявления главных эффектов в исследуемом явлении. Это видно на примере таких моделей, как идеальный газ, непоглощающее зеркало, абсолютно черное тело, математический маятник и т.д. Уровень упрощения обуславливается также возможностью оперирования с моделями. Так, одно дело проводить моделирование с использованием логарифмической линейки, а другое — с помощью компьютера. Более того, давно замечено, что из двух моделей, с одинаковой точностью описывающих некоторое явление, более простая будет и более успешной. Например, геоцентрическая модель Птолемея позволяла с достаточной точностью рассчитать движения планет, предсказать затмения Солнца, но требовала расчетов по очень громоздким формулам с переплетением многочисленных «циклов». На смену геоцентрической системе пришла более простая и изящная гелиоцентрическая система Н. Коперника.

Приближенность моделей в отображении действительности также является неотъемлемым свойством модели. Так, абсолютно точной картой страны будет только сама эта страна, а абсолютно точной моделью атома может быть сам атом. Приемлемое различие определяется целью моделирования. Так, точность наручных часов обычно достаточна для повседневных целей и недостаточна для многих других целей, в том числе научных.

Модель, с помощью которой достигается поставленная цель, должна быть адекватна этой цели, т.е. *требования полноты, точности и истинности* должны выполняться не вообще, а лишь в той мере, которая достаточна для достижения цели. Например, геоцентрическая модель Птолемея была адекватной в смысле точности описания движения планет и не лишена истинности: относительно Земли Солнце и планеты действительно движутся; шаман, объясняющий свое успешное врачевание силами духов,

предлагает адекватную, но ложную модель. В ряде случаев удается ввести меру адекватности модели, т.е. указать способ сравнения моделей по степени успешности достижения цели с их помощью. В таких случаях говорят об идентификации модели (о нахождении в заданном классе моделей наиболее адекватной), об исследовании чувствительности и устойчивости моделей (о зависимости меры адекватности модели от ее точности), об адаптации моделей (подстройке параметров модели с целью повышения адекватности) и т.п.

Заметим, что об истинности, правильности или ложности модели самой по себе говорить бессмысленно. Степень истинности выявляется лишь в практическом соотнесении модели с отображаемой ею натурой, причем изменение условий, в которых ведется сравнение, весьма значимо влияет на его результат и может привести к существованию двух противоречивых, но одинаково истинных моделей одного объекта. Примером этого могут являться волновая и корпускулярная модели света или электрона; эти модели различны, противоположны и истинны, но каждая в своих условиях.

Любая модель явно или неявно содержит условия своей истинности, и одна из опасностей практики моделирования состоит в применении модели без проверки выполнения этих условий. Например, при обработке экспериментальных данных часто употребляют статистические процедуры, не проверяя условий их применимости (скажем, нормальности или независимости). Когда это делается вынужденно (не всякое условие возможно проверить), к полученным результатам должно быть осторожное, условное отношение. Такие ситуации выдвинули перед исследователями проблему создания моделей, применимость которых сохраняется в некотором диапазоне условий.

Основные типы моделей систем

При изучении систем используют модели «черного», «белого» и «серого» ящика. Систему представляют как «черный ящик», если неизвестно внутреннее строение самой системы; ее поведение и функционирование изучается по входному и выходному сигналам. При изучении системы как «белого ящика», наоборот, известны все элементы и их взаимосвязи. Систему рассматривают как «серый ящик», когда что-то из внутреннего строения объекта известно, а что-то остается неизвестным, например модель состава системы с неизвестной структурой или, наоборот, модель структуры с неизвестным составом.

В рамках модели «черного ящика» внутреннее устройство системы изображают в виде непрозрачного ящика, выделенного из окружающей среды (рис. 4.1). Эта модель отражает два важных свойства системы — целостность и обособленность от среды [22]. Система не является полностью изолированной от среды, она связана со средой и с помощью этих связей взаимодействует с ней (входы и выходы системы). В модели «черного ящика» отсутствуют сведения о внутреннем содержании системы, а задаются, фиксируются и перечисляются только входные и выходные связи системы со средой. В одних случаях достаточно содержательного словесного описания входов и выходов; тогда модель «черного ящика» является просто их списком. В других случаях требуется количественное описание некоторых или всех входов и выходов с заданием двух множеств X и U входных и выходных переменных.



Модель «черного ящика» в ряде случаев является единственно применимой при изучении систем. Например, при исследовании психики человека или влияния лекарства на живой организм ученый лишен возможности вмешательства в систему иначе, как только через ее входы, и делает выводы лишь на основании наблюдения за ее выходами. Часто приходится ограничиваться моделью «черного ящика» в связи с отсутствием данных о внутреннем устройстве системы. Например, мы не знаем, как «устроен» электрон, но знаем, как он взаимодействует с электрическими и магнитными полями, с гравитационным полем. Это и есть описание электрона на уровне модели «черного ящика».

Для решения вопросов, касающихся внутреннего устройства системы, недостаточно только модели «черного ящика» — необходимы более развитые модели. Например, любая система внутренне неоднородна, что позволяет различать составные части самой системы, причем некоторые части системы в свою очередь могут быть разбиты на составные части и т.д. *Части системы, которые рассматриваются как неделимые, называют элементами, а части системы, состоящие более чем из одного элемента, — подсистемами.* В результате получается модель состава системы, которая описывает, из каких подсистем и элементов состоит система (рис. 4.2) [22].

Для того чтобы составить представление о свойствах изучаемого объекта, часто бывает необходимо выявить определенные связи (отношения) между элементами. *Совокупность связей элементов друг с другом, обеспечивающих целостность системы, называют ее структурой.* Модель структуры в простейшем виде представляет собой список существенных для решения конкретной задачи отношений. Так, при расчете механизма не учитываются силы взаимного притяжения его деталей, хотя, согласно закону всемирного тяготения, такие силы объективно существуют; в то же время вес деталей (т.е. сила их притяжения к Земле) учитывается обязательно.

Поскольку все структурные схемы имеют много общего, возможно абстрагирование от их содержательной стороны и соответственно построение схем, в которых обозначены только элементы и связи между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется *графом*.

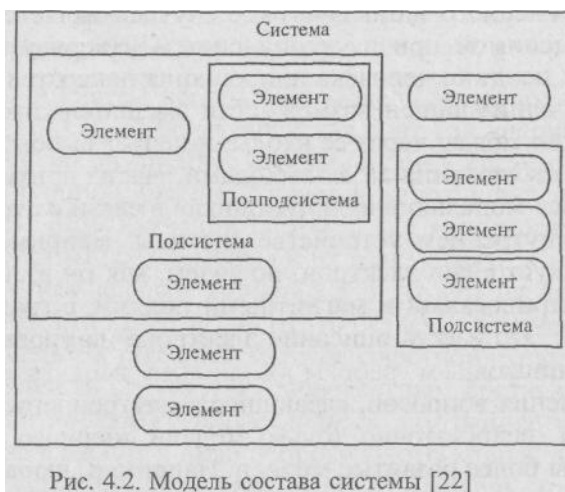
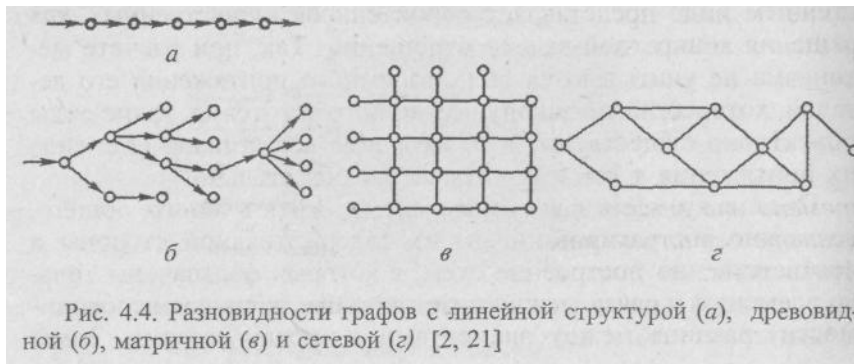
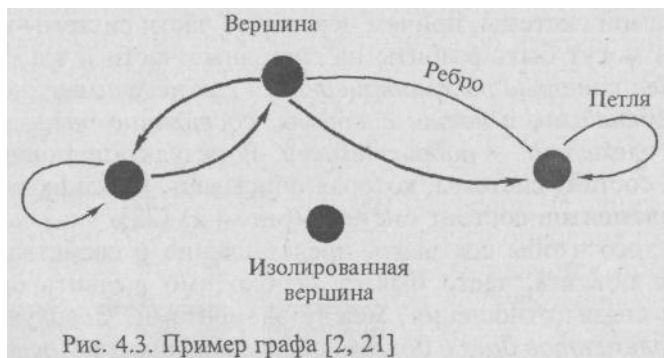


Рис. 4.2. Модель состава системы [22]

Граф (рис. 4.3) состоит из обозначений элементов произвольной природы - вершин и обозначений связей между ними - ребер (дуг). Если необходимо отразить несимметричность некоторых связей, линию, изображающую ребро, снабжают стрелкой. Если направления связей не обозначаются, граф называют неориентированным, при наличии стрелок - ориентированным (полностью или частично). Любая пара вершин может быть соединена с любым количеством ребер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называют петлей). Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают разным ребрам различные веса (взвешенные графы), либо раскрашивают вершины или ребра (раскрашенные графы) [2, 21].

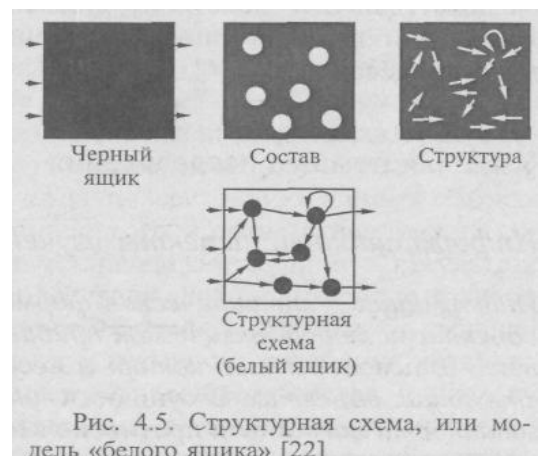
Графы могут изображать любые структуры, в том числе в различных областях естествознания. Так, при анализе природных систем часто используют линейные, древовидные (иерархические), матричные и сетевые структуры (рис. 4.4).



Например, в виде древовидного графа можно изобразить речной бассейн и изучать соотношение притоков и главного русла.

Если соединить модели «черного ящика», состава и структуры, то образуется модель, которую часто называют «белый (прозрачный) ящик» (рис. 4.5). В «белом ящике» указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы). Такие модели часто называют структурными схемами системы [22].

Если при исследовании системы не учитываются ее изменения во времени, то модель называется статической. Чтобы понять и описать, как система работает (функционирует) и что происходит с ней самой и с окружающей средой в ходе ее развития, нужны такие модели, которые отражают поведение систем, описывают происходящие с течением времени изменения, последовательность этапов, операций, действий,



причинно-следственные связи. *Модели, отображающие изменения в системах в течение времени, называются динамическими.*

Разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детальности: от самого общего понятия динамики, движения вообще, до формальных математических моделей конкретных процессов типа уравнений движения в механике или волновых уравнений в теории поля.

Обычно говорят о двух типах динамики системы: *функционировании*, т.е. устойчивой последовательности постоянно действующих процессов в системах, обеспечивающей сохранение того или иного характерного для значительного отрезка времени состояния этой системы, и *развитии* — необратимом, направленном, закономерном изменении системы, которое может привести к смене структуры системы. Типы динамических моделей такие же, как и статических, но элементы этих моделей имеют временной характер. Так, динамический вариант «черного ящика» содержит указания о начальном («вход») и конечном («выход») состояниях системы; модели состава соответствует перечень этапов в некоторой упорядоченной последовательности действий; динамический вариант «белого ящика» — подробное описание происходящего или планируемого процесса.

§ 4.3. Системные исследования

Информационные аспекты изучения систем

Информация — специфическая форма взаимодействия между объектами любой физической природы или, точнее, такой аспект взаимодействия, который несет сведения о взаимодействующих объектах. В сущности информация — мера организованности системы в противоположность понятию энтропии как меры неорганизованности [6, 7, 22, 24, 32].

Представление об энтропии как мере неорганизованности было введено Р. Клаузиусом в связи с изучением термодинамических явлений. Л. Больцман дал статистическую интерпретацию энтропии, позволившую рассматривать энтропию как меру вероятности пребывания системы в конкретном состоянии. Больцман показал, что природные процессы стремятся перевести термодинамическую систему из состояний менее вероятных в состояния более вероятные, т.е. привести систему в равновесное состояние, для которого значения энтропии (неупорядоченности) максимальны. После построения в середине XX в. К.Э. Шенноном теории информации оказалось, что формула Больцмана для термодинамической энтропии и формула Шеннона для информационной энтропии тождественны [32]. Таким образом, понятие энтропии приобрело более универсальный смысл в изучении систем различного происхождения.

Изучение потоков информации в системах имеет очень большое значение. Так, если вещественные и энергетические потоки обеспечивают целостность системы и возможность ее существования, то потоки информации, переносимые сигналами, организуют все ее функционирование, управляют ею. Поэтому при изучении любого объекта как системы не следует ограничиваться рассмотрением и описанием вещественной и энергетической его сторон, необходимо проводить исследование информационных аспектов системы (сигналов, информационных потоков, организации, управления и т.д.).

Информационный анализ систем использует представление о сигналах — носителях информации, *средстве перенесения информации в пространстве и времени.* В качестве сигналов выступают состояния некоторых объектов: чтобы два объекта содержали информацию друг о друге, необходимо соответствие между их состояниями; тогда по состоянию одного объекта можно судить о состоянии другого. Соответствие между состояниями двух объектов устанавливается либо в результате непосредственного взаимодействия, либо с помощью взаимодействия с промежуточными объектами.

Например, от преподавателя до ушей студентов звук переносят колебания воздуха.

Не всякое состояние имеет сигнальные свойства, поскольку объект взаимодействует не только с тем объектом, информацию о котором требуется получить, но и с другими объектами, в результате чего соответствие состояний ослабевает. Условия, обеспечивающие установление и способствующие сохранению сигнального соответствия состояний, называют *кодом*, а посторонние воздействия, нарушающие это соответствие, - *помехами* или *шумами*. Нарушение соответствия состояний возможно не только вследствие помех, но и из-за рассогласования кодов взаимодействующих объектов. При этом предполагается, что в природных системах согласование кодов происходит в самой структуре систем путем естественного отбора различных вариантов.

Сигналы делятся на два типа:

1) статические сигналы, являющиеся стабильными состояниями физических объектов (например, книга, фотография, магнитофонная запись, состояние памяти компьютера, положение триангуляционной вышки и т.д.);

2) динамические сигналы, в качестве которых могут выступать динамические состояния силовых полей. Изменение состояния таких полей приводит к распространению возмущения, конфигурация которого во время распространения обладает определенной устойчивостью, что обеспечивает сохранение сигнальных свойств. Примерами таких сигналов могут служить звуки (изменение состояния поля сил упругости в газе, жидкости или твердом теле), световые и радиосигналы (изменения состояния электромагнитного поля). Так как сигналы - это состояния физических объектов, можно математически описать данное явление. Например, можно зафиксировать звуковые колебания, соответствующие конкретному сигналу, в виде зависимости давления x от времени t и изобразить этот сигнал функцией $x(t)$. Так же функцией можно изобразить и статический сигнал, например запись звука на магнитной ленте, поставив в соответствие параметру t протяженность (длину) записи. Однако между просто состоянием объекта и сигналом имеется существенное различие: единственная функция $x(t)$ не исчерпывает всех важных свойств сигналов. Дело в том, что понятие функции предполагает, что нам известно значение x (либо правило его вычисления) для каждого интервала времени. Но если это известно получателю сигнала, то отпадает необходимость в его передаче, так как функция $x(t)$ может быть и без этого воспроизведена на приемном конце. Следовательно, функция приобретает сигнальные свойства только тогда, когда она является одной из возможных функций. Моделью сигнала может быть набор (ансамбль) функций параметра t , причем до передачи сигнала неизвестно, какая из них будет отправлена. Каждая такая конкретная функция называется *реализацией*. Если ввести вероятностную меру на множество реализации, то получается математическая модель, называемая *случайным процессом*.

Специфическим для теории информации является понятие неопределенности случайного объекта, для которой и была введена количественная мера — энтропия. Пусть, например, некоторое событие может произойти с вероятностью 0,99 (99%) и не произойти с вероятностью 0,01 (1%), а другое событие имеет вероятности соответственно 0,5 (50%) и 0,5 (50%). В первом случае результатом опыта «почти наверняка» является наступление события, а во втором неопределенность исхода так велика, что от прогноза разумнее воздержаться.

В качестве меры неопределенности случайного объекта A с конечным множеством возможных состояний A_1, \dots, A_n соответствующими вероятностями p_1, \dots, p_n принимают величину

$$H(A) = H(\{p_i\}) = - \sum_{k=1}^n p_k \log p_k,$$

которую называют энтропией случайного объекта A (или распределения вероятностей $\{p_i\}$) и используют в качестве меры неопределенности. Обобщение этой меры на непрерывные случайные величины выглядит следующим образом:

$$h(X) = - \int p(x) \log p(x) dx.$$

Функция $h(X)$ получила название дифференциальной энтропии и является аналогом энтропии дискретной (прерывной) величины.

Это позволяет интерпретировать процесс получения информации как изменение неопределенности в результате приема сигнала. Тогда количество информации можно представить как меру снятой неопределенности: числовое значение количества информации о некотором объекте равно разности априорной и апостериорной энтропии этого объекта, иначе говоря, как меру уменьшения неопределенности в результате получения сигнала. При этом в результате обработки уже полученных данных содержащееся в них количество информации не может быть увеличено. Следовательно, обработка делается лишь для представления информации в более удобном, компактном виде и в лучшем случае без потери полезной информации.

Информация и энтропия - безразмерные величины. За единицу энтропии принимают неопределенность случайного объекта, такого, что

$$H(X) = - \sum_{i=1}^m p_i \log p_i = 1,$$

т.е. энтропия (неупорядоченность) равна единице (достигает максимального значения) при данном m , когда все исходы равновероятны, и равна нулю в том случае, когда одна из p_i равна единице, а остальные равны нулю, т.е. когда исход опыта достоверен. Следует конкретизировать число m состояний объекта и основание логарифма. Наименьшее число возможных состояний, при котором объект остается случайным, равняется 2 ($m = 2$). Если в качестве основания логарифма также взять число 2, то единицей неопределенности служит энтропия объекта с двумя равновероятными состояниями — *бит*. Например, количество информации 1 бит дает бросание монеты. Для непрерывных величин обычно употребляется другая единица (*нит*), которая получается при использовании натурального логарифма.

При обмене информацией между системами возникают специфические эффекты, полезные для анализа систем. Например, избыточность - явление не всегда отрицательное. При искажениях, выпадениях и вставках символов именно избыточность позволяет обнаружить и исправить ошибки.

Важным понятием информационного характера является *скорость передачи информации* - количество информации, передаваемое в единицу времени. В дискретном случае единицей времени удобно считать время передачи одного символа. Для непрерывных каналов единицей времени может служить либо обычная единица (например, секунда), либо интервал между отсчетами. Для более наглядного представления об этой величине укажем, что темп обычной речи человека соответствует скорости примерно 20 бит/с, муравьи обмениваются информацией (путем касания усиками) со скоростью около 0,1 бит/с. Скорость передачи информации по каналу связи зависит от многих факторов (энергия сигнала, количество символов в алфавите, избыточность, способ кодирования и декодирования и т.д.) и не превышает некоторого предела, называемого *пропускной способностью канала*. Например, пропускные способности зрительного, слухового и тактильного (осязательного) каналов связи человека составляют приблизительно 50 бит/с (заметим, что распространено мнение о сильном отличии зрительного канала). Если включить в канал и «исполнительные» органы человека (например, предложить ему нажимать педаль или кнопку в темпе получения сигналов), то пропускная способность снизится до 10 бит/с.

Теория информации имеет большое значение для системного подхода. Ее конкретные методы и результаты позволяют проводить количественные исследования информационных потоков в изучаемой системе. Однако более важным является эвристическое значение основных понятий теории информации - неопределенности, энтропии, количества информации, избыточности, пропускной способности и др.

Этапы системного исследования

Любое системное исследование имеет определенную структуру и проводится по определенному алгоритму. Так, для целей экологии Дж. Джефферс рекомендует алгоритм, показанный на рис. 4.6 и включающий следующие этапы системного анализа: выбор проблемы, постановку задачи и ограничение степени ее сложности, установление иерархии целей и задач, выбор путей решения, моделирование, оценку возможных стратегий и, наконец, внедрение результатов [10]. Ф.И. Перегудов и Ф.П. Тарасенко предлагают другой алгоритм постановки задач системного исследования, изображенный на рис. 4.7, где помимо опорной последовательности действий (утолщенные сплошные линии) предусматривается возможность возврата к уже выполненным действиям в случае необходимости (штриховые линии) [22].



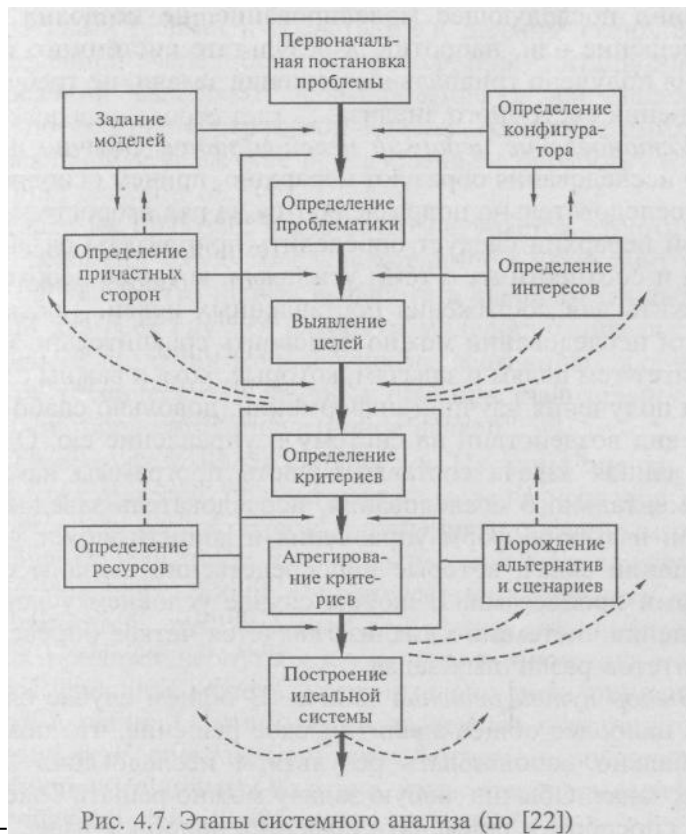
Однако системный анализ, а тем более системный подход не предполагает строго определенного набора рецептов. Поэтому, говоря о некоторых этапах и направлении системной деятельности, следует рассматривать их только как руководство к действию. При решении конкретных задач часть этапов может быть исключена или изменен порядок их следования. Иногда приходится повторять эти этапы в различном порядке. Например, если необходимо уточнить роль исключенных на первых этапах из рассмотрения факторов, требуется пройти несколько раз этапы моделирования и оценки возможных стратегий; для проверки адекватности целевой структуры исследования придется время от времени возвращаться к одному из ранних этапов даже после выполнения значительной части работы на более поздних этапах анализа и т.д.

Рассмотрим специфику системного исследования в естествознании на примере алгоритма Дж. Джефферса (см. рис. 4.6) [10].

1. *Выбор проблемы.* Выбор некой проблемы, которую можно исследовать только с помощью системного анализа, не всегда оказывается тривиальным шагом, но всегда столь же важен, как и правильный выбор метода исследования. Ведь можно

взяться за решение проблемы, не поддающейся системному анализу, либо выбрать проблему, которая не требует для своего решения всей мощи системного анализа и изучать которую данным методом неэкономично.

2. *Постановка задачи и ограничение степени ее сложности.* Этот этап связан с упрощением задачи в той мере, чтобы она могла иметь аналитическое решение и в то же время сохранить все те элементы, которые делают проблему интересной для изучения. Успех или неудача исследования во многом зависит от умения выбрать равновесие между упрощением и усложнением, при котором сохранены все связи с исходной проблемой, достаточные для того, чтобы аналитическое решение поддавалось интерпретации. Может оказаться, что проект не осуществлен из-за того, что принятый уровень сложности затруднил последующее моделирование, не позволил получить решение или, напротив, в результате системного исследования получено тривиальное решение задачи, не требующее применения системного анализа.



3. *Установление иерархии целей и задач.* Обычно цели и задачи исследования образуют иерархию, причем основные задачи последовательно подразделяются на ряд второстепенных. В такой иерархии следует определить приоритеты различных этапов и соотнести их с теми усилиями, которые необходимо приложить для достижения поставленных целей. Так, в прикладном исследовании можно присвоить сравнительно малый приоритет тем целям и задачам, которые, хотя и важны с точки зрения получения научной информации, довольно слабо влияют на вид воздействий на систему и управление ею. Однако, когда данная задача составляет часть программы какого-то фундаментального исследования, исследователь заведомо ограничен в выборе форм управления и концентрирует усилия на решении задач, которые непосредственно связаны с конкретными процессами. В любом случае условием успешного применения системного анализа является четкое определение приоритетов различных задач.

4. *Выбор путей решения задачи.* В общем случае следует искать наиболее общее аналитическое решение, что позволит максимально использовать результаты исследования аналогичных задач. Обычно любую задачу можно решать более чем одним способом и применять решение, подобное известному, следует при допущениях, справедливых для данного конкретного случая. Поэтому полезно разрабатывать несколько альтернативных решений и выбрать то из них, которое лучше подходит для данной задачи.

5. *Моделирование.* Приступая к этапу моделирования, необходимо помнить, что моделируемым процессам, а также механизмам обратной связи присуща внутренняя неопределенность, а это может значительно усложнить как понимание системы, так и ее управляемость. Кроме того, в самом процессе моделирования при выработке решения о подходящей стратегии нужно учитывать ряд правил.

Процесс моделирования структурирован, т.е. состоит из последовательности этапов. Этапы различаются качественно, конкретными целями и средствами и должны выполняться в определенной очередности. Например, при имитационном моделировании выделяют: формирование целей моделирования - построение абстрактной модели - создание имитационной реальной модели — ее исследование - обработку и интерпретацию результатов.

Однако на практике чаще всего не удается строго выдерживать рекомендуемую

последовательность действий. Более того, очевидно, что нельзя выработать какой-то единый, пригодный для всех случаев алгоритм моделирования, поскольку в процессе создания моделей кроме осознанных формализованных, технических и научных приемов значительное место занимает творческое, интуитивное начало.

6. *Оценка возможных стратегий.* На этапе оценки потенциальных стратегий, полученных на модели, исследуется чувствительность результатов к допущениям, сделанным при построении модели, поскольку правомерность этих допущений можно проверить лишь в процессе использования модели. Если окажется, что основные допущения некорректны, возможно, придется вернуться к этапу моделирования, но часто удается улучшить модель, незначительно модифицировав исходный вариант. Обычно также исследуют чувствительность модели к тем аспектам проблемы, которые были исключены из формального анализа на этапе, когда ставилась задача и ограничивалась степень ее сложности.

7. *Внедрение результатов.* Если исследование проводилось по описанной выше схеме, то шаги, которые необходимо предпринять для внедрения результатов, достаточно очевидны. Заметим, что на последнем этапе может выявиться неполнота исследования на тех или иных этапах и необходимость их пересмотра, т.е. понадобится повторить какие-то этапы.

В заключение еще раз заметим, что возможности системного подхода огромны, но предлагаемые для исследования естественно-научные проблемы не всегда требуют использования арсенала системного подхода. Этот подход не отменяет и не заменяет классические исторически сложившиеся методы изучения природы - он его дополняет и обогащает, определяя специфику современного естествознания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое системность и системный подход? Какие проблемы позволяет эффективно решать системный подход? Какие уровни системности труда вы знаете?

2. Дайте определение системы. Какие основные свойства систем вы знаете? Кратко поясните эти свойства.

3. Какие классификации систем вы знаете? Укажите основания этих классификаций.

4. Когда зародились и как развивались системные представления? Специалисты каких областей знаний являлись инициаторами внедрения системности в научное знание?

5. Какие три основных направления сложились в изучении системности? Кратко охарактеризуйте специфику каждого направления.

6. Что такое модель и моделирование? Дайте определения и рассмотрите значение модельных представлений в современном естествознании.

7. На каком основании и как подразделяются модели природных явлений? Приведите примеры моделей разных типов и дайте обоснование необходимости их использования в естествознании.

8. Какие особенности моделей вы знаете? Поясните сущность конечности, упрощенности и приближенности моделей. В чем заключается требование к полноте, точности и истинности моделей?

9. Какие типы моделей систем выделяют? Что такое модели «черного», «серого» и «белого» ящика? Охарактеризуйте их и поясните, зачем они нужны.

10. Какое значение имеет информация в системных исследованиях? Дайте определение информации.

11. Что такое энтропия в теории информации? Какое значение она имеет для передачи информации?

12. Какие этапы системного исследования можно выделить? Охарактеризуйте каждый этап.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверьянов А.Н.* Системное познание мира. М., 1985.
2. *Белов В.В., Воробьев Е.М., Шаталов В.Е.* Теория графов. М., 1976.
3. *Березина Л.Ю.* Графы и их применение. М., 1979.
4. *Берталанфи Л. фон.* История и статус общей теории систем // Системные исследования: Ежегодник. М., 1973.
5. *Богданов А.А.* Всеобщая организационная наука (тектология): В 3 т. М., 1905—1924.
6. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. М., 1960.
7. *Бриллюэн Л.* Научная неопределенность и информация. М., 1970.
8. *Винер Н.* Кибернетика и общество. М., 1958.
9. *Винер Н.* Кибернетика. М., 1968.
10. *Джеффферс Дж.* Введение в системный анализ: применение в экологии. М., 1981.
11. *Ефимов А.Н.* Информационный взрыв: проблемы реальные и мнимые. М., 1985.
12. *Калман Р., Фалб П., Арбиб М.* Очерки по математической теории систем. М., 1971.
13. *Кемени Дж., Снелл Дж.* Кибернетическое моделирование. Некоторые приложения. М., 1972.
14. Модели в географии /Под ред. Р. Дж. Чорли, П. Хаггета. М., 1971.
15. *Моисеев Н.Н.* Люди и кибернетика. М., 1984.
16. *Мороз А.И.* Курс теории систем. М., 1987.
17. *Налимов В.В.* Вероятностная модель языка. М., 1979.
18. *Неуймин Я.Г.* Моделирование в науке и технике. М., 1984.
19. *Нечипоренко В.И.* Структурный анализ систем. М., 1977.
20. *Новик И.Б.* О моделировании сложных систем. М., 1968.
21. *Оре О.* Теория графов. М., 1968.
22. *Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Введение в системный анализ. М., 1989.
23. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. М., 1986.
24. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.
25. *Растринин Л.А.* Кибернетика и познание. Рига, 1978.
26. *Садовский В.Н.* Основания общей теории систем. М., 1974.
27. *Седов Л.И.* Теория подобия и размерности в механике. М., 1954.
28. Системные исследования. Методологические проблемы: Ежегодник. М., 1982.
29. *Уемов А.И.* Системный подход и общая теория систем. М., 1978.
30. Философский энциклопедический словарь. М., 1983.
31. *Хакен Г.* Синергетика. М., 1980.
32. *Шеннон К.Э.* Имитационное моделирование систем - искусство и наука. М., 1978.
33. *Штофф В.А.* Моделирование и философия. М.; Л., 1966.
34. Эксперимент. Модель. Теория. М.; Берлин, 1982.

Глава 5

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

§ 5.1. Пространство и время в естествознании

Эволюция взглядов на пространство и время

Пространство и время - фундаментальные категории современного естествознания. Физические, биологические, географические и другие величины непосредственно или опосредованно связаны с пространственно-временными характеристиками объектов. Ученые ведут дискуссии о сущности пространства и времени, об их основных свойствах. Проблемы пространства и времени во многом решаются в рамках господствующей в данную эпоху парадигмы. Картинам мира разных исторических эпох с присущими им культурами соответствовали свои пространственно-временные представления. Более того,

выбор самих моделей пространства и времени зависит от конкретных целей и масштабов, в которых существует изучаемое явление или объект.

Нашим *далеким предкам* мир представлялся маленьким и кратковременным; для них пространство замыкалось видимыми очертаниями моря и гор [1]. Пространство первобытных людей было очень неоднородным. На территории племени выделялись тотемные центры - места, где пространство, по мнению членов племени, обладало максимально благоприятными качествами. Место обитания племени было также благотворным пространством, ибо здесь похоронены предки, охраняющие племя. За относительно упорядоченным пространством племенной территории располагалось внешнее пространство, наделенное отрицательными качествами. Развитие межплеменных связей обусловило появление представлений о множественности оазисов упорядоченного бытия. Постепенно мифологический мир приобретает многоуровневый характер: верхний уровень предков или иных сакральных персонажей, средний уровень людей и нижний уровень мертвых. Подобные уровни объединяются с помощью «мирового древа», креста и т.п.

Что касается восприятия времени, то первобытное мышление не ощущало как однородные следующие друг за другом отрезки времени и приписывало некоторым периодам дня и ночи, лунного месяца, года и т.д. свойство оказывать благоприятное или губительное влияние. В более развитой мифологии каждому уровню мира присуще свое время, отличающееся такими параметрами, как ритм, длительность и т.п. Для мифологического времени характерна ориентация на прошлое. Мифологический прамир помещается в то время, когда еще не было времени, оно само еще создавалось. Более того, мифологическое время, соотнесенное с прошлым, оказывается вместе с тем настоящим и даже будущим, так как первобытные представления порождены циклическим видением времени. Колесо времени двигалось из прошлого, захватывало настоящее и через будущее уносило их в прошлое. Прошлое претерпевало изменения, аккумулируя достижения первобытного мышления и познания.

Древним грекам мир не представлялся столь маленьким [1]. Они были смелыми мореплавателями; установили торговые и культурные связи со многими народами, населявшими берега Средиземного моря. Древнегреческому ученому Эратосфену удалось определить длину земной окружности. В античной натурфилософии на смену опоясывающему Землю Океану приходит линейно упорядоченная река времени, которая катит свои воды из прошлого через настоящее в будущее, унося нас из детства в старость. (Эту линейную модель восприняло христианство, где присутствуют три момента времени: сотворение мира, распятие Христа и загробный мир — конечный пункт. Однако в христианстве река времени потекла вспять: настоящее непрерывно переходит из будущего в прошлое. Здесь более приемлем образ песочных часов. Бог сотворил время и, отмерив нужное количество, «засыпал» его в верхнее отделение часов - это и есть будущее, которое через отверстие (настоящее) стекает в нижнее отделение - в прошлое.)

В античности существовал широкий спектр представлений о сущности пространства и времени. Представители элейской школы в Древней Греции отрицали возможность существования пустого пространства, или, по их выражению, небытия.

Эмпедокл, поддерживая учение о невозможности пустоты, высказывался в пользу реальности изменения и движения, считая, что пустого пространства не существует, и в качестве доказательства указывал: если рыбы передвигаются в воде, следовательно, все объекты также существуют в определенной среде. Напротив, Демокрит утверждал, что пустота существует и необходима для перемещений и соединений атомов. У древнегреческого математика Евклида пространственные характеристики объектов обрели строгую математическую форму. В это время зарождаются геометрические представления об однородном и бесконечном пространстве, высказываются предположения о шарообразности Земли и о Солнце как центре Вселенной.

В античное время возникает первая целостная система мира - геоцентрическая система

К. Птолемея, в которой планеты, Солнце и другие небесные тела обращаются вокруг Земли по орбитам, представляющим сложное сочетание круговых орбит -деферентов и эпициклов. В центр деферента помещалась Земля, и принималось, что планета движется по эпициклу (системе эпициклов), центр которого равномерно перемещается по деференту. Система Птолемея представляла собой универсальную модель мира, где время было бесконечным, а пространство - конечным, в котором происходит равномерное круговое движение небесных тел вокруг неподвижной Земли.

Согласно Библии, Вселенная состоит из круглой плоской Земли, накрытой сверху твердым куполообразным небесным сводом, под которым движутся облака и небесные светила. Все религии сходятся на том, что мир был некогда сотворен, и при этом называют срок 6-9 тыс. лет.

Начиная с XV в. представления о пространстве и времени значительно расширяются. Этому активно способствовали Великие географические открытия, давшие представления о пространстве в пределах Земли и эмпирически доказавшие шарообразность нашей планеты. Изменение научной картины мира произошло с появлением гелиоцентрической системы мира, предложенной *Н. Коперником* (1543), где Солнце — центральное тело, вокруг которого обращаются планеты. Гелиоцентрическая система мира сменила представление о Земле как центре мироздания. Теория Коперника направила движение естественнонаучной мысли к признанию безграничности и бесконечности пространства. Система мира Коперника унаследовала высказанные ранее, но не воспринятые современниками идеи Аристарха Самосского (III в. до н.э.), который полагал, что звезды и Солнце неподвижны, Земля вращается вокруг Солнца по окружности, расстояние от Земли до звезд бесконечно большое, а также мыслителя раннего Возрождения Николая Кузанского (XV в.), который утверждал, что Земля, как и любое другое тело, не может быть центром Вселенной. Развитие взглядов Николая Кузанского и Коперника получило в теории *Дж. Бруно*, который связал бесконечность Вселенной и пространства. Бруно писал, что Вселенная должна быть бесконечной благодаря возможности и сообразности бытия бесчисленных миров, подобных нашему.

В начале XVII в. *И. Кеплер* в гелиоцентрической картине движения планет увидел действие единой физической силы. Он установил универсальную зависимость между периодами обращения планет и средними расстояниями их до Солнца, ввел представление об их эллиптических орбитах.

Огромную роль в развитии представлений о пространстве сыграл сформулированный *Г. Галилеем* принцип относительности, расширение которого во многом привело к современным научным представлениям о пространстве и времени. Он заметил, что, находясь в помещении под палубой корабля и наблюдая за всем, что там происходит, нельзя определить, покоится корабль или он движется равномерно и прямолинейно. Галилей сделал вывод, что механическое движение относительно, а законы, которые его определяют, абсолютны, т.е. безотносительны. Его взгляды коренным образом отличались от общепринятых в то время представлений Аристотеля о существовании «абсолютного покоя» и «абсолютного движения».

Дальнейшее развитие представлений о пространстве и времени связано с именем *Р. Декарта*, который полагал, что все явления природы объясняются механическим взаимодействием элементарных материальных частиц. Взаимодействие он представлял в виде давления или удара при соприкосновении частиц друг с другом и ввел, таким образом, в естествознание идею *близкодействия*. Он поставил знак равенства между материальностью и протяженностью, т.е., отрицая пустое пространство, отождествил пространство с протяженностью.

Новая картина мира была предложена *И. Ньютоном*. Распространив на всю Вселенную закон тяготения, он пришел к выводу, что Вселенная бесконечна. Лишь в этом случае в ней может находиться множество космических объектов - центров гравитации, связанных между собой силой тяготения. Пространство и время Ньютон характеризует как

вместилища самих себя и всего существующего: во времени все располагается в порядке последовательности, в пространстве — в порядке положения. При этом Ньютон различал два типа понятий пространства и времени — абсолютные (истинные, математические) и относительные (кажущиеся, обыденные). Абсолютное время само по себе и без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью, а абсолютное пространство безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным. Относительное время есть постигаемая чувствами внешняя мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного времени (час, день, месяц, год), а относительное пространство есть мера или какая-либо его ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которая в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное. Для своих построений Ньютон использовал модели абсолютного пространства и времени.

Немецкий ученый *Г.В. Лейбниц* развивал реляционную концепцию пространства и времени, отрицающую существование пространства и времени как абсолютных сущностей. Указывая на чисто относительный (реляционный) характер пространства и времени, Лейбниц считал, что пространство и время есть нечто относительное (пространство - порядок сосуществования, а время — порядок последовательностей) и не могут рассматриваться в отрыве от самих «вещей». Однако идеи Лейбница о пространстве и времени не получили распространение среди его современников.

Ньютоновская концепция пространства и времени и принцип относительности Галилея, на основе которых строилась физическая картина мира, господствовали вплоть до конца XIX в. Принятие абсолютного времени и постулирование абсолютной и универсальной одновременности во всей Вселенной стало основой для теории *дальнодействия*. В качестве дальнодействующей силы выступало тяготение, которое с бесконечной скоростью, мгновенно и прямолинейно распространялось на бесконечные расстояния. Эти мгновенные, вневременные взаимодействия объектов служили физическим каркасом для обоснования абсолютного пространства, существующего независимо от времени.

Изучение электромагнитных явлений выявило ряд существенных отличий их свойств от механических свойств тел. Если в механике Ньютона силы зависят от расстояний между телами и направлены по прямым, то в электродинамике (теории электромагнитных процессов), созданной в XIX в. английскими физиками *М. Фарадеем* и *Дж.К. Максвеллом*, силы зависят от расстояний и скоростей и не направлены по прямым, соединяющим тела, распространение же сил происходит не мгновенно, а с конечной скоростью. Из этого вытекал вывод о конечной скорости распространения электромагнитных взаимодействий и существовании электромагнитных волн. Свет, магнетизм, электричество стали рассматриваться как проявление единого электромагнитного поля. Открытие существования поля в пространстве между зарядами и частицами было значимо для описания свойств пространства и времени. Перенос принципа относительности на электродинамику не представлялся возможным, так как в то время считалось, что все пространство заполнено особой средой - *эфиром*, натяжения в котором истолковывались как напряженности электрического и магнитного полей. Эфир не влиял на механические движения тел, но на электромагнитных процессах движение относительно эфира («эфирный ветер») должно было сказываться. В частности, предполагалось, что «эфирный ветер» должен влиять на распространение света. Однако попытки обнаружить «эфирный ветер» не увенчались успехом. Так, американский физик *А. Майкельсон* поставил опыт, который доказывал независимость скорости света от движения Земли. Результаты опыта Майкельсона не поддавались объяснению с помощью понятий классической механики.

Расширение представлений о пространстве и времени связано с распространением принципа относительности Галилея на системы отсчета, которые движутся по отношению друг к другу равномерно и прямолинейно под действием инерции (инерциальные системы отсчета) со скоростями, сопоставимыми со скоростью света *c*. Для таких систем *Х. Лоренц*

предложил преобразования, носящие его имя. При $v \ll c$ преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея, но если скорость v сопоставима со скоростью света c , то проявляются существенные отличия от нерелятивистской картины пространства-времени :

◇ события, которые происходят одновременно в одной системе отсчета, перестают быть одновременными в другой; меняется и закон преобразования скоростей;

◇ пространственные и временные промежутки не остаются неизменными при переходе из одной системы отсчета в другую, движущуюся относительно первой со скоростью v .

Важный шаг в понимании сущности пространства и времени связан с созданием *А.Эйнштейном* (1905) специальной теории относительности. Он показал, что в преобразованиях Лоренца отражаются не реальные изменения размеров тел при движении (что можно представить лишь в абсолютном пространстве), а изменения результатов измерения в зависимости от движения системы отсчета. Относительными оказывались и «длина», и «промежуток времени» между событиями, и даже «одновременность» событий, иначе говоря, не только всякое движение, но и пространство, и время. Исходя из невозможности обнаружить абсолютное движение, Эйнштейн сделал вывод о равноправии всех инерциальных систем отсчета. Он сформулировал два постулата, делавших излишней гипотезу о существовании эфира и составивших основу обобщенного принципа относительности: 1) все законы физики одинаково применимы в любой инерциальной системе отсчета и не должны меняться при преобразованиях Лоренца; 2) свет всегда распространяется в свободном пространстве с одной и той же скоростью независимо от движения источника.

В рамках общей теории относительности Эйнштейна считается, что структура пространства-времени определяется распределением масс материи. Так, в классической механике принимается, что если бы вдруг все материальные вещи исчезли, то пространство и время остались бы. Согласно теории относительности, пространство и время исчезли бы вместе с этими вещами.

Пространство и время в различных отраслях естествознания

В современной науке используются такие понятия, как физическое, геологическое, географическое, биологическое, психологическое, социальное пространство и время [4, 11, 12 и др.]. Проиллюстрируем это на двух видах пространства и времени - биологическом и психологическом.

Биологическое пространство и время характеризуют специфические пространственно-временные свойства параметров органической материи: асимметрию расположения атомов в молекулах белка и нуклеиновых кислот; собственные временные ритмы и темпы изменения внутриорганизменных и надорганизменных биосистем; взаимосвязь и синхронизацию ритмов друг с другом, а также с вращением Земли вокруг оси и сменой времен года.

Для анализа биологического времени человека полезно обратиться к рис. 5.1 [2], где дана зависимость темпа биологического времени человека от его физического возраста. График построен на основе анализа данных о длительности заживления ран, температуре тела, составе крови, концентрации ДНК в организме, содержании глюкозы в тканях и показывает, что если для 10-летнего человека принять темп биологического времени за один год, то в трехлетнем возрасте этому времени соответствует 6 лет, а в 70-летнем - всего несколько месяцев. Аналогичные графики построены для рыб, мух дрозофил, мышей, лошадей, моллюсков. Более того, такие графики зависимости темпа времени системы от его возраста можно строить и для неживой природы в виде графика скорости

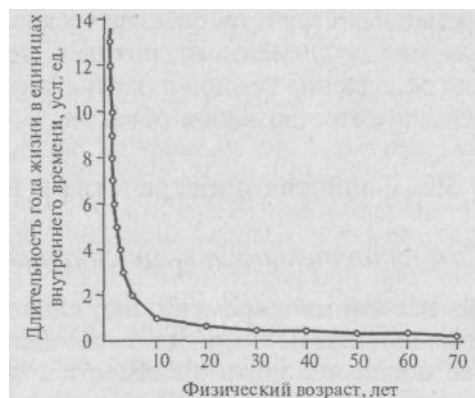


Рис. 5.1. Зависимость темпа биологического времени человека от его возраста

разрушения горных систем разного возраста, скорости роста оврага на разных стадиях его развития и т.д.

Психологическое пространство и время характеризуют основные структуры пространства и времени, связанные с восприятием и так называемыми перцептивными (вкусовыми, визуальными и т.д.) полями. Исследователями выявлены неоднородность перцептивного пространства, его асимметрия, эффект обратимости времени в бессознательных и транспсихических процессах, а также синхронизм психических процессов, состоящий в одновременном параллельном проявлении идентичных психических переживаний у двух или нескольких человек. Для иллюстрации психологического времени можно привести широко известное высказывание немецкого философа А. Шопенгауэра о том, что в детстве время идет очень медленно, в юности - быстрее, но все равно еле «передвигает ноги», в зрелом возрасте оно уже «идет в ногу» со старением, а в старости мчится, как стрела. Конечно же каждый человек испытывал моменты, когда время «мчится, как стрела» или «тянется, как резина». Проиллюстрировать различное восприятие пространства можно, например, напомнив о том, что одно и то же помещение одним людям может казаться большим, а другим - маленьким.

Кроме рассмотренных типов пространства и времени в литературе обсуждаются проблемы геологического, географического, социального и других типов пространств и времен, выделяются их специфические черты и характерные особенности. При этом обычно анализируются неоднородность пространственно-временных структур, специфические пространственные отношения между элементами, ритмы и темпы изменения, ускорение или замедление темпов развития рассматриваемых в конкретной отрасли естествознания объектов.

§ 5.2. Свойства пространства и времени

Самостоятельность пространства и времени

До настоящего времени нет единой модели пространства и времени, применимой во всех областях естествознания. Скорее можно говорить о выборе и создании подходящей модели пространства и времени для решения конкретных задач в разных отраслях науки о природе. Выбор некоторой модели пространства и времени или ее изменение имеет смысл лишь в случае, если это приведет к новой исследовательской программе, способствующей более глубокому проникновению в сущность изучаемого явления, получению нового знания.

Существуют разные подходы к решению проблемы о таких специфических свойствах пространства и времени, как самостоятельность, мерность, симметрия, обратимость, кривизна, соотношение физического и геометрического подходов [5, 10, 11, 13, 14]. Одно из наиболее обсуждаемых свойств пространства и времени связано с выявлением его *самостоятельной сущности*. Здесь говорят о двух концепциях: субстанциальной и реляционной (релятивистской).

Субстанциальная концепция подразумевает, что при описании природных процессов используются средства классической механики и пространство и время воспринимаются как нечто самостоятельное: пространство — некоторое пустое вместилище тел, а время — нечто протекающее равномерно и иначе называемое длительностью. Само слово «субстанция» (от лат. *substantia* - сущность; то, что лежит в основе) подразумевает нечто относительно устойчивое или, другими словами, то, что существует само по себе, не зависит ни от чего другого.

В связи с самостоятельностью сущности пространства и времени возникает потребность в поиске специфических их свойств. В литературе эта проблема рассматривается применительно ко времени. Например, советский астрофизик Н.А. Козырев в 1963 г. в своей работе «Причинная механика и возможность

экспериментального исследования свойств времени» обратил внимание на следующие обстоятельства [10]. Большинство законов механики по отношению ко времени симметрично. Однако в действительности наблюдается направленное развитие мира. Несимметричность этого процесса обычно объясняется переходом систем из маловероятного состояния в более вероятное. Но реальная картина наблюдаемой Вселенной противоречит этому утверждению. Козырев предположил, что несимметричность есть свойство самого времени, а ход времени должен быть универсальной постоянной и определяться по отношению к некоторому инварианту, которым может служить пространство. Он ввел три аксиомы причинности: 1) причины и следствия всегда разделяются пространством; 2) причины и следствия всегда разделяются временем; 3) время обладает абсолютным свойством, отличающим будущее от прошедшего. Если это так, то в пространстве-времени должна существовать точка, не принадлежащая ни причине, ни следствию, а наличие хода времени должно служить объяснением того, что при изотропности пространства (независимости свойств физических явлений от направления) в нем всегда различаются правое и левое начала.

Реляционная (релятивистская) концепция используется в случае, если описание явлений действительно требует привлечения теории относительности А. Эйнштейна, где пространство и время существуют постольку, поскольку существует материя, т.е. если вдруг исчезнет материя, то исчезнет и пространство, и время. Эта концепция отрицает самостоятельную сущность пространства и времени, рассматривая время как отношение или систему отношений между физическими событиями. В ее рамках для времени наиболее ясно раскрываются отношения раньше-позже, очень важные с точки зрения причинно-следственного анализа.

Мерность пространства и времени

В литературе обсуждается такое свойство пространства и времени, как их *мерность*. Обычно под мерностью понимают количество замеров, которые следует сделать для однозначного определения места некоторой точки. Так, чтобы однозначно определить место точки в пространстве в фиксированный момент времени, необходимо и достаточно указать три ее координаты. В наиболее привычной прямоугольной декартовой системе координат это x , y , z - длина, ширина и высота (рис. 5.2, а); в сферической системе координат требуется указать радиус-вектор r и углы α и β (рис. 5.2, б); в цилиндрической системе - высоту h , радиус-вектор r и угол α (рис. 5.2, в).

Считается, что все материальные процессы и взаимодействия реализуются именно в пространстве трех измерений. В одномерном (линия) или двумерном (плоскость) пространстве не могут происходить взаимодействия частиц и полей. Три измерения являются необходимым и достаточным минимумом, в рамках которого могут осуществляться все типы взаимодействий материальных объектов.

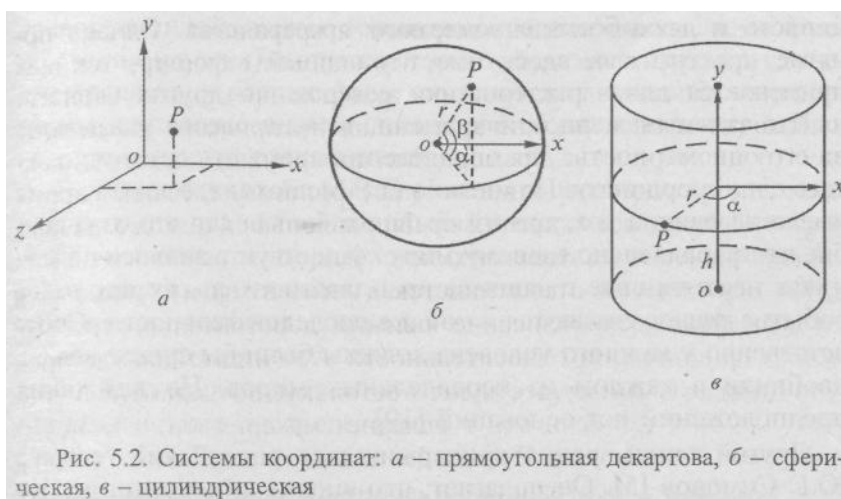


Рис. 5.2. Системы координат: а – прямоугольная декартова, б – сферическая, в – цилиндрическая

В настоящее время не известно каких-либо форм движения и взаимодействия, которые требовали бы четырех- или пятимерного пространства, и возможность таких процессов не вытекает ни из каких установленных законов природы.

В литературе нередко рассуждения о возможности существования пространств большего количества измерений. Так, в последнее время была выдвинута гипотеза о реальных 11 измерениях в области микромира в первые моменты рождения нашей Вселенной: 10 - пространственных и одно — временное; затем они образуют 4-мерный пространственно-временной континуум. Эта гипотеза связана со следующими обстоятельствами. В математике и физике широкое применение получило представление о многомерных (n -мерных) пространствах. Данная математическая абстракция играет важную роль. Каждая координата многомерного пространства может указывать на какое-то любое свойство рассматриваемой физической реальности - температуру, плотность, скорость, массу и т.д. Если число таких параметров вместе с пространственно-временными характеристиками равно n , то считается, что они образуют « n -мерное пространство, а конкретные значения свойств определяются как точки в « n -мерном пространстве. При достаточно большом количестве свойств и взаимосвязанных переменных можно прийти к понятию многомерного и даже бесконечномерного пространства. Однако понятие пространства здесь имеет условный характер, так как применяется для характеристики совершенно других свойств.

Что касается мерности времени, то чаще всего указывают на его одномерность: для определения времени достаточно задать одну координату. По мнению С.Т. Мелюхина, если бы время имело не одно, а два, три измерения и больше, то это означало бы, что параллельно нашему миру существуют аналогичные и никак не связанные с нашим миром двойники, в которых те же события разворачиваются в той же последовательности. Соответственно у каждого человека должны были бы существовать двойники в каждом из параллельных миров. Но для таких предположений нет оснований [19].

Другой точки зрения придерживается российский географ Ю.Г. Симонов [5]. Он полагает, что вполне возможно предложить двухмерную модель времени, полезную для описания и изучения некоторого класса событий, и рассматривает ее на примере некоторых географических явлений. Здесь следует вспомнить о двух типах времени — солнечном и лунном. С фазами лунного и солнечного календарей могут быть связаны различные события. Известно, что эти векторы времени независимы и не совпадают по фазам, а их периоды не являются кратными друг другу. Так, изучая явления на Земле, можно отыскать среди них те, которые связаны лишь с гравитационными полями Земля - Луна и Земля - Солнце. Эти поля могут накладываться друг на друга, то суммируясь, то вычитаясь. В таком случае можно говорить об изучении гравитационной системы из трех тел. В такой системе количество векторов времени совпадает с количеством степеней свободы. Пусть в пространстве двух векторов времени ось x совпадает с вектором солнечного времени, а ось y — с лунным. В фазу новолуния силы лунного и солнечного притяжений складываются, а в фазу полнолуния — вычитаются. Поэтому в фазу новолуния максимальные гравитационные возмущения испытывают Земля и Солнце, а в фазу полнолуния — Луна и Солнце; минимум гравитационной напряженности Земли приходится на полнолуние, когда гравитационные поля вычитаются. Таким образом, на Земле гравитационная напряженность нарастает от полнолуния к новолунию, а затем убывает. При нарастании гравитационной волны возникают одни эффекты, а на фоне убывания (снятия) напряженности - другие. Так, тектонические трещины в разные фазы сжимаются и расширяются; процессы, связанные с трещинно-поровым давлением грунтовых вод, протекают с разной силой и т.д.

В общем случае, по мысли Симонова, векторов времени может быть не два, а больше. Выбор модели многомерного времени (в частности, определение количества временных векторов) удастся осуществить довольно просто в том случае, когда изучаемые процессы причинно не зависят друг от друга и их можно представить себе как циклически

проявляющиеся, причем циклы могут длиться не часами и сутками, а годами, столетиями и даже тысячелетиями.

Симметрия и асимметрия пространства и времени

Симметрия - одно из свойств пространства и времени. Это свойство заключается в переходе объектов в самих себя или друг в друга при осуществлении определенных преобразований. В наиболее широком смысле *симметрия* — *свойство неизменности (инвариантности) отдельных сторон, процессов и отношений объектов относительно некоторых преобразований*. Симметричными могут быть вещи, процессы, геометрические фигуры, математические уравнения, живые организмы, произведения искусства и т.д. Преобразования симметрии могут быть и реальными, и мысленными (пространственный сдвиг, вращение, зеркальное отражение в пространстве, зарядовое сопряжение -замена частицы на античастицу).

Представления о симметрии имеют большое значение практически во всех отраслях естествознания. Истоки этого понятия восходят к античным представлениям о гармонии, которые имели преимущественно эстетический смысл соразмерности, уравновешенности, упорядоченности, красоты и совершенства. Специальные научные разработки понятия симметрии начались в XIX в. в кристаллографии. Усилиями И. Гесселя (Франция), А. Шенфлиса (Германия), А.В. Гадолина и Е.С. Федорова (Россия) было создано учение о пространственной симметрии, в котором выделены 230 возможных групп симметрии. Внутренняя симметрия определяется молекулярным строением вещества, о чем свидетельствуют формы кристаллов природных минералов различного химического состава и их кристаллической решетки (рис. 5.3). Особенно совершенных форм можно добиться, выращивая искусственные кристаллы.

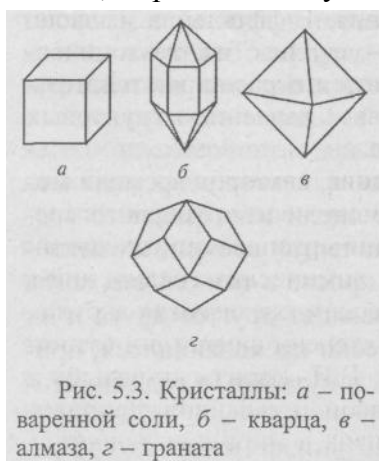


Рис. 5.3. Кристаллы: *а* – поваренной соли, *б* – кварца, *в* – алмаза, *г* – граната

В окружающем нас мире преобладают два вида симметрии -зеркальная, или билатеральная, симметрия и радиально-лучевая [20]. Как оказалось, все, что растет или движется вертикально относительно земной поверхности, имеет радиально-лучевую симметрию в виде веера пересекающихся плоскостей симметрии, а все, что растет и движется горизонтально или наклонно по отношению к земной поверхности, подчиняется билатеральной симметрии (одна плоскость симметрии). Однако известно, что земное тяготение влияет лишь на внешнюю форму природных тел. Следовательно, форма любого объекта связана как с его внутренними свойствами, так и с внешними факторами, воздействующими на этот объект.

Соотношения внутренней и внешней симметрии получили отражение в принципе симметрии П. Кюри. В упрощенной форме он звучит так: симметрия порождающей среды накладывается на симметрию тела, образующегося в этой среде. Получившаяся в результате форма тела сохраняет только те элементы своей собственной симметрии, которые совпадают с наложенными на него элементами симметрии среды.

Идея симметрии лежит в основе многих исследований современной науки. Так, Ф. Клейн (Германия), рассматривавший различные геометрии как теории инвариантов определенных групп преобразований, внес существенный вклад в формирование современного понятия симметрии, тесно связав его с понятием инвариантности и теории групп. Теоремы Э. Нетера (Германия) позволили связать пространственно-временную симметрию (инвариантность) уравнений математической физики с сохранением фундаментальных физических величин - энергии импульса, момента количества движения. В дальнейшем исследование взаимосвязи принципов симметрии с законами сохранения стало одним из магистральных направлений развития физики.

В химии и биологии на первый план часто выходит асимметрия как определенное

нарушение симметрии, особенно характерное для живых организмов на молекулярном и морфологическом уровнях их структурной организации. Эволюционное развитие материи от простых химических соединений к сложным органическим и биологическим системам обнаруживает общую тенденцию уменьшения степени симметрии и соответственно возрастание асимметрии. В.И. Вернадский видел в симметрии ключ к разделению живой и неживой природы, указывая на то, что правизна и левизна в мире кристаллов не играют принципиальной роли, а для живых организмов наблюдается иная картина. Л. Пастер показал, что в продуктах биохимических процессов преобладают либо правые, либо левые изомеры вещества. В обобщенном виде в биологии установлено, что пространство, занимаемое живым веществом, характеризуется асимметрией. Следует также отметить, что в мире кристаллов отсутствуют оси симметрии пятого, седьмого, восьмого и более высоких порядков, а в мире растений и простейших животных они встречаются достаточно часто.

Обратимость пространства и времени

Обратимость пространства и времени - свойство, тесно связанное с симметрией. Как известно, в каждую точку пространства можно снова и снова возвращаться. В этом отношении пространство является как бы обратимым. Что касается времени, то обычно подчеркивается его необратимость, означающая однонаправленное изменение от прошлого к будущему: нельзя возвратиться назад в какую-либо точку времени, но нельзя и перескочить через какой-либо временной промежуток в будущее. Отсюда делается вывод, что время составляет как бы рамки для причинно-следственных связей.

В более общем виде решение проблемы обратимости связано с рассмотрением двух противоположных концепций - статической и динамической [13].

Согласно статической концепции времени, события прошлого, настоящего и будущего существуют в известной мере одновременно. Кроме того, все физические законы инвариантны относительно замены знака времени, поскольку время в уравнениях движения классической и квантовой механики берется в квадрате. Это наводит на мысль, что все физические процессы могут происходить одинаково как в прямом направлении, так и в обратном. Если это действительно так, то имеется принципиальная возможность, перемещаясь во времени, оказываться в событиях прошлого или будущего, а также возвращаться из них в настоящее. Статическая концепция допускает возможность построения «машины времени» и некоторые другие эффекты и парадоксы. Так, если течение времени зависит от скорости движения его носителя, то можно принять парадокс близнецов в теории относительности, о котором говорилось ранее, а именно: возвратившийся из космического путешествия космонавт по существу попадает в свое будущее, а его брат, оставшийся на Земле, встречается со своим прошлым. Эти события происходят одновременно, т.е. в некоторый момент времени встречаются настоящее с прошлым и настоящее с будущим. В такой встрече отсутствует симметрия: один и тот же человек не встречается сразу и со своим прошлым, и со своим будущим.

Еще один пример. Свет от различных звезд долетает до нас за разные интервалы времени; следовательно, об их современном состоянии мы ничего не знаем, а изучаем их далекое прошлое, принимая его за настоящее.

В науках о Земле также обсуждаются такие явления. Еще в 1938 г. российский географ акад. К.К. Марков описал явление, которое он назвал метахронностью. Оно проявляется в том, что наступление и чередование фаз и стадий развития геосистем происходят несинхронно в разных частях земного шара, даже если эти геосистемы располагаются на одной широте. Например, установлено, что формирование ледникового щита Антарктиды началось значительно раньше, чем оледенение в Северном полушарии.

В настоящее время в науках о Земле обсуждают такое явление, как полихронность, которая предполагает одновременное наличие нескольких пластов времени в одном объекте. Все они существуют в настоящем, но, располагая их в некоторой

хронологической последовательности, можно самые древние из них называть прошлым, средней давности - настоящим, а самые молодые - будущим. Полихронность свойственна многим природным явлениям. Поэтому статическая концепция не так уж нелепа, как ее иногда пытаются представить [5].

Динамическая концепция времени противоположна статической: в ней есть лишь настоящее, прошлое существовало, а будущее только еще будет существовать. К прошлому относятся все те события, которые уже осуществились и превратились в последующие. Будущие события — это те, которые возникнут из настоящих и непосредственно предшествующих им событий. Настоящее охватывает все те явления, которые реально существуют и способны к взаимодействию между собой. Взаимодействие возможно лишь при одновременном сосуществовании объектов.

В рамках динамической концепции невозможно построение «машины времени» для перемещения в прошлое и будущее. Если бы путешествие в прошлое было реально возможным, тогда, дойдя до некоторого момента, «машина времени» исчезла бы вместе с экипажем, поскольку в прошлом их реально не существовало. А при путешествии в будущее надо еще воссоздать некоторый будущий мир из ничего, куда-то «спрятать» существующий мир, чтобы затем возвратиться в него.

С этой концепцией связана неопределенность понятия настоящего, поскольку неясно, какой именно отрезок времени можно считать настоящим - миг, день или более продолжительное время. (Эта проблема стоит и перед представителями гуманитарных дисциплин, например современность в истории.) Представление о настоящем можно предельно сузить, выбирая все более и более короткие отрезки времени и доведя их до интервала, достаточного для того, чтобы его невозможно было принять за настоящее. Появляется ощущение, что нет не только прошлого и будущего, но и настоящего. Все, что было, — уже прошлое, все последующее - еще в будущем. Но настоящее может быть и расширено в зависимости от сопоставляемых интервалов и масштабов события до часа, дня, года и т.д.

Обычно говорят, что для объектов и явлений настоящее время охватывает тот интервал, в течение которого они физически могут взаимодействовать между собой путем обмена веществом и энергией. Если бы скорость распространения воздействий была бесконечной, то это настоящее представляло бы собой сколь угодно малый миг, дающий мгновенное сечение всех событий во Вселенной - настоящих, прошлых и будущих. Но скорость распространения воздействий конечна и, по современным представлениям, не превышает скорости света в вакууме. Поэтому физически проявляющееся во взаимодействиях настоящее материальных систем охватывает тот временной интервал, в течение которого они способны провзаимодействовать. Для элементарных частиц это будут очень малые отрезки времени, но для Галактики они возрастают до сотни тысяч лет. Внутри этого настоящего для крупных систем могут укладываться события прошлого, настоящего и будущего малых систем, существующих намного меньшее время. Только сейчас мы воспринимаем излучение от звезд и галактик, испущенное тысячи и миллионы лет назад. Взаимодействия между ними могут осуществляться в течение миллионов лет в обоих направлениях. Отсюда следует относительность понятия настоящего. При этом из систем будущего никаких воздействий и информации не может поступать, ибо эти системы еще не возникли, не обладают реальным существованием. Действие всегда происходит только в одном направлении: от прошлого к настоящему и от настоящего к ближайшему будущему, в которое настоящее переходит, но никогда наоборот. Принято считать, что последнее исключается законом причинности.

Геометрические свойства пространства

Геометрический анализ пространства опирается прежде всего на исторический опыт землепользования. Первые научные геометрические представления выражены в евклидовой геометрии, по которой пространство характеризуется трехмерностью и

изотропностью (независимостью свойств от направления), а прямая есть кратчайшее расстояние между двумя точками. Геометрия Евклида исходит из пяти аксиом, или постулатов. Более всего споров у математиков вызывал пятый постулат, в соответствии с которым из одной точки на плоскости можно провести только одну прямую, которая не будет пересекаться с данной. В начале XIX в. немецкий математик К.Ф. Гаусс признал, что если этот постулат "заменить другими аксиомами, то можно построить новую геометрию. Такие новые геометрии были построены Н.И. Лобачевским (Россия), Б. Риманом (Германия) и Я. Больяем (Венгрия). Так, Лобачевский и Больяй допустили, что существует множество прямых, которые не пересекутся с данной. Риман, напротив, заменил пятый постулат на аксиому, согласно которой через точку, лежащую вне данной прямой на плоскости, нельзя провести ни одной параллельной, все они будут пересекаться с данной.

Эти представления наглядно иллюстрируются на двухмерных поверхностях. Евклидова геометрия реализуется на плоскости, геометрия Римана - на поверхности сферы, на которой прямая линия выглядит как отрезок дуги большого круга, центр которого совпадает с центром сферы. Геометрия Лобачевского реализуется на так называемой псевдосфере. Поскольку пространство имеет три измерения, то для каждой геометрии вводится понятие кривизны пространства (рис. 5.4). В евклидовой геометрии кривизна нулевая, у Римана - положительная, у Лобачевского и Больяя - отрицательная, поскольку на основании пятой аксиомы доказывается теорема о сумме углов треугольника. В геометрии Евклида, как известно, она равна 180° , у Римана - она больше 180° , а у Лобачевского — меньше.

В трехмерном неевклидовом пространстве кривизна пространства понимается как отступление его метрики от евклидовой, что точно описывается языком математики, но невозможно представить как-то наглядно. Впоследствии Риман показал единство и непротиворечивость всех неевклидовых геометрий, частным случаем которых выступает геометрия Евклида.



Рис. 5.4. Треугольники на поверхности: *a* – нулевой кривизны, *b* – положительной, *c* – отрицательной

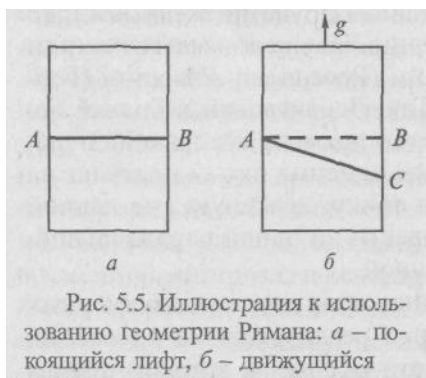


Рис. 5.5. Иллюстрация к использованию геометрии Римана: *a* – покоящийся лифт, *b* – движущийся

Рассматривая физические и геометрические свойства пространства и времени, полезно затронуть вопрос об их соотношении и предпочтении той или иной геометрии для построения конкретных физических моделей явлений. С этой точки зрения интересна позиция А. Пуанкаре, который утверждал, что, если пространство с любой произвольно заданной геометрией дополнено законами физики, оно может быть принято для описания изучаемого явления. Аналогичной точки зрения придерживался А. Эйнштейн. Но если Пуанкаре предлагал выбирать относительно простую геометрию

пространства и дополнять ее сравнительно сложными описаниями физических законов, то Эйнштейн, наоборот, предлагал более сложную геометрию дополнять сравнительно простыми физическими законами [14]. Так, в теории относительности Эйнштейна используется геометрия Римана. Эту возможность наглядно иллюстрирует следующий мысленный эксперимент [22, 23]. Пусть лифт покоится в отсутствие гравитационного поля

(рис. 5.5, а). В стенке лифта сделано отверстие A , через которое луч света падает на его противоположную сторону; линия AB - прямая. Лифт начинает движение вверх с ускорением g . За время, пока свет проходит расстояние между стенками, лифт смещается вверх, и луч света попадает не в точку B , а в точку C (рис. 5.5, б). Линия AC сохраняет свойство быть кратчайшим расстоянием между двумя точками, но это будет не прямая, а так называемая геодезическая.

§ 5.3. Методы оценки пространства

Размеры микрообъектов

Нас окружают объекты, размеры которых несопоставимы друг с другом: молекулы и Солнечная система, атомы и галактики и т.д. Все они расположены в пространстве, и, следовательно, можно оценить расстояния, связанные с этими объектами. Приведем некоторые приблизительные оценки, позволяющие более уверенно ориентироваться в окружающем пространстве [3, 7, 15].

Минимально видимая глазом длина сопоставима с толщиной волоса - около 0,1 мм. Если быть более точным, то невооруженным глазом с расстояния наилучшего видения (около 25 см) наблюдатель со средней остротой зрения может отличить одну мелкую частицу (или деталь объекта) от другой, лишь если они отстоят друг от друга на расстоянии около 0,08 мм. Усилить наше зрение может лупа - собирающая линза - или система линз с небольшим фокусным расстоянием (10-100 мм). С ее помощью можно добиться увеличения от 2 до 50 раз, т.е. объект можно рассмотреть в среднем в 10 раз детальнее.

Свойство линзы или системы линз давать увеличенные изображения предметов известно с XVI в. Оптический микроскоп впервые успешно применил в научных исследованиях англичанин Р. Гук, установивший в 1670-х гг. клеточное строение животных и растительных тканей. Примерно в это же время голландский ученый А. Левенгук открыл с помощью оптического микроскопа микроорганизмы. Развитию методов микроскопических исследований существенно способствовала разработка теории образования изображений несамосветящихся объектов в микроскопах немецким физиком Э. Аббе (вторая половина XIX в.).

Современный оптический микроскоп дает увеличение примерно в 100-1000 раз. Следовательно, размеры объектов, которые можно увидеть в такой микроскоп, составляют 0,0001 мм (10^{-7} м). Различные типы оптических микроскопов предназначены для обнаружения и изучения микроорганизмов (бактерий, микроскопических грибов, водорослей и вирусов), органических клеток, мелких кристаллов, определения и детального изучения минералов, минерального состава и структуры горных пород и т.д.

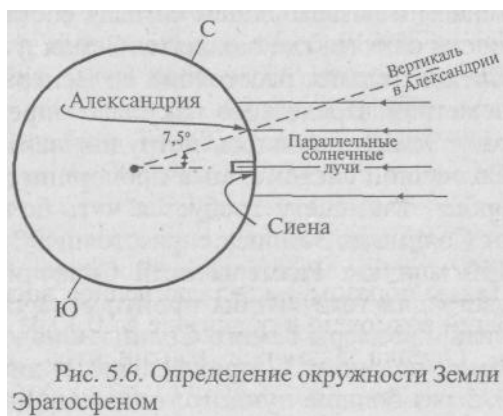
Возможности оптических микроскопов ограничены разрешающей способностью, т.е. способностью давать отдельные изображения двух близких друг к другу точек объекта. Дело в том, что из-за дифракции света изображение точки представляет собой светлое пятно, окруженное кольцами, и после некоторого увеличения изображения двух точек начинают сливаться. В видимом свете ничего нельзя рассмотреть при увеличении объекта более чем в 1500-2000 раз, поскольку длина волны видимого света становится больше изучаемого объекта.

Для того чтобы рассмотреть более мелкие объекты, используют электронный микроскоп - прибор, в котором для получения увеличенного изображения используется электронный пучок. Разрешающая способность электронного микроскопа в сотни раз выше, чем у оптического микроскопа. Электронные микроскопы позволяют получить с помощью наблюдения и фотографирования многократно увеличенные объекты (вплоть до 10 раз) и увидеть объекты размером 10^{-9} м. Эти приборы дают возможность при определенных условиях рассмотреть микроструктуру тел (вплоть до атомно-молекулярного уровня) и т.п. Физические основы электронно-оптических приборов были

заложены ирландским математиком У.Р. Гамильтоном почти за 100 лет до появления электронных микроскопов, которые стали создаваться в первой половине XX в., а широкое применение в естествознании получили уже во второй половине XX в. Высокие разрешения этих микроскопов достигаются благодаря чрезвычайно малой длине волны электронов. Несколько большие подробности объектов можно рассмотреть лишь косвенными методами. Например, в настоящее время применяется метод изучения объектов с помощью рассеяния электронов.

Размеры макрообъектов

Обратимся к макрообъектам. Если допустить, что рост человека составляет в среднем 1,5-2 м, то эта величина превышает диаметр волоса на четыре порядка. Размеры большей части предметов, окружающих нас, сопоставимы с размерами человеческого тела, иначе было бы трудно иметь с ними дело. Расстояния до объектов, находящиеся на больших расстояниях (холм, лес, поле и т.д.), можно оценить шагами, т.е. по существу сопоставить их с размером своего тела. В таких случаях расстояние составляет от нескольких километров до нескольких десятков километров. Таким образом, непосредственное восприятие человеком расстояний возможно в диапазоне от 0,1 мм до приблизительно 100 км. Оценка размеров континентов, а тем более окружности Земли вряд ли возможна с помощью шагов. В этом случае целесообразно поступить так. Если известны средняя скорость движения некоторого вида транспорта (поезда, машины, самолета и пр.) и время в пути, можно получить представление о преодоленном расстоянии: если ехать из одного пункта в другой со скоростью 100 км/ч в течение 7 ч, то ясно, что было преодолено расстояние 700 км; если самолет за 9 ч долетает из Москвы до Петропавловска-Камчатского при средней скорости 800-850 км/ч, то эти населенные пункты разделены расстоянием приблизительно 7500 км. Чтобы облететь вокруг Земли, самолету потребовалось бы примерно в 5 раз больше времени, поскольку ее окружность составляет около 40 000 км. Весьма точно окружность Земли и ее радиус удалось оценить еще в античное время Эратосфену. Он заметил, что в день летнего солнцестояния 21-22 июня в районе г. Сиены (Асуан, Египет) лучи Солнца падают отвесно, а в Александрии, отстоящей на 800 км севернее, угол падения $7,5^\circ$ (рис. 5.6). Из простейших тригонометрических расчетов следует, что окружность Земли составляет 40 000 км, а ее диаметр — около 12 000 км. Оценить расстояние до небесных тел можно также с помощью очень простых способов. Ближайшим небесным телом для нас является Луна. Еще во II в. до н.э. Гиппарх измерил угол, под которым видна тень, отбрасываемая Землей на Луну во время лунного затмения, а зная диаметр Земли, он довольно точно определил расстояние от Земли до Луны. В настоящее время для таких целей используют радиолокацию. Сигнал радара направляют на объект и измеряют время, протекшее от посылки сигнала до возвращения отраженной волны. Для Луны это время составит 2,6 с; следовательно, в одну сторону сигнал летел 1,3 с. Поскольку волна радара имеет ту же природу, что и световая, и распространяется со скоростью 300 000 км/с, можно заключить, что расстояние Земля Луна приблизительно 400 000 км.



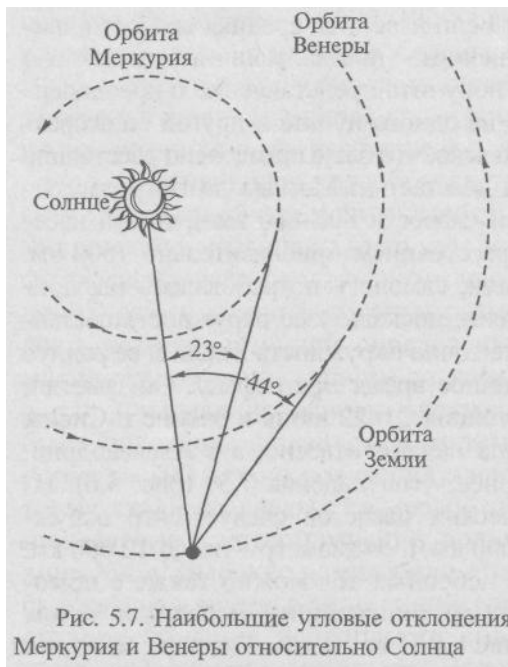


Рис. 5.7. Наибольшие угловые отклонения Меркурия и Венеры относительно Солнца

Наблюдения за движением планет позволяют определить относительные размеры их орбит. Так, Меркурий всегда наблюдается близко от Солнца, никогда не далее 23° , т.е. радиус орбиты Меркурия равен 0,38 радиуса земной орбиты (немногим более $1/3$ ее радиуса). Аналогичным способом находим радиус орбиты Венеры - 0,7 радиуса земной орбиты (немногим более $2/3$ от него). Таким образом, можно построить картину Солнечной системы, соблюдая найденные пропорции (рис. 5.7).

Для того чтобы узнать истинный радиус орбит планет, следует определить расстояние только до одной из них, а остальные рассчитать по уже известной пропорции. Здесь также пользуются радарным методом. Например, до Венеры время между испусканием и возвращением сигнала составляет 5-15 мин в зависимости от того, где находятся Земля и Венера на своих орбитах.

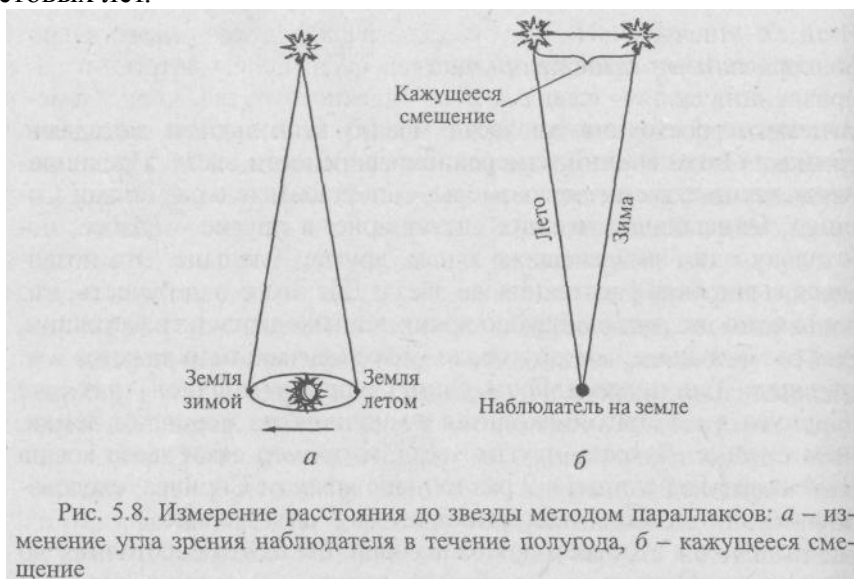
Следовательно, расстояние до Венеры порядка миллионов километров. После того как было определено расстояние Венера - Земля, оказалось нетрудно найти и другие расстояния в Солнечной системе, зная пропорции и относительные размеры орбит. Так, свету требуется чуть больше 8 мин, чтобы дойти от Солнца до Земли, т.е. расстояние Земля — Солнце составляет 150 млн км. Размеры всей Солнечной системы таковы, что свету для того, чтобы пройти ее, нужно 11ч. Несложно оценить и размеры самого Солнца. Оно кажется нам таким же, как Луна, но оно в 375 раз дальше, и диаметр его должен быть в 375 раз больше лунного: он равен 1,4 млн км.

Межзвездные пространства

Оценить расстояния до звезд можно несколькими методами. Один из них связан с измерением светимости звезд. Предположим, что звезды имеют размеры, сопоставимые с размерами Солнца. Однако одни из них светят ярче, а другие - слабее, поскольку одни звезды ближе к нам, другие - дальше. Это позволяет вычислить расстояния до звезд. Для этого надо учесть, что если одно из двух одинаково ярких тел находится на расстоянии, в n раз большем, чем другое, то более близкое тело кажется в n раз ярче. Так, интенсивность света Солнца в (миллион) раз ярче Сириуса, т.е. Сириус находится в миллион раз дальше от Земли, чем Солнце. Яркость других звезд, например семи звезд ковша Большой Медведицы, в 9 раз меньше яркости Сириуса; следовательно, они должны находиться еще в 3 раза дальше.

Используя этот метод, можно было бы найти расстояния до всех звезд. Однако мы не обязаны верить «на слово», что звезды - такие же тела, как и Солнце. Поэтому полезно использовать какой-либо иной метод. В 1830-х гг. для этой цели был предложен метод параллакса. Этот метод основан на простейшем способе измерения расстояния до какого-либо недоступного предмета: его визируют из двух разных точек и затем определяют, как изменяется направление, в котором он виден. Например, отдаленное дерево будет видно немного в ином направлении, если пройдем несколько шагов перпендикулярно линии, соединяющей дерево и наблюдателя, и, чем дальше дерево, тем меньше изменится направление, в котором оно видно. Исходя из этого изменения, вычисляют расстояние до дерева. При измерении расстояний до звезд используют эффект вращения Земли вокруг Солнца (рис. 5.8). Так, зимой мы смотрим на звезду из точки, которая на 300 млн км удалена от летней точки наблюдения. При этом для наблюдателя звезда переместится по небесному своду на расстояние, равное диаметру земной орбиты. Иначе говоря, он увидит

звезду, сместившуюся на угол, под которым виден диаметр земной орбиты со звезды. Эти смещения крайне малы, но уже более 150 лет назад были созданы инструменты, способные измерять столь малые смещения. Оказалось, что таким методом можно измерить расстояние звезд, отстоящих не более чем на 50 световых лет. (Световой год - единица измерения межзвездных расстояний; путь, который свет проходит за год, т.е. $9,46 \cdot 10^{12}$ км.) На этом расстоянии находится около 300 звезд. Ближайшие от нас звезды (Проксима, Альфа в созвездии Центавра) находятся на расстоянии приблизительно 4 световых лет.



Смещение множества звезд слишком мало, чтобы его можно было измерить. При этом оценку межзвездных расстояний по светимости выполняют путем сравнения звезд одного цвета, которые не слишком различаются по размеру.

Оценив межзвездные расстояния, можно оценить протяженность пустого пространства между нашей Солнечной системой и одной из ближайших звезд - Сириусом: оно в 1 млн раз больше расстояния от Земли до Солнца, т.е. порядка 10^{14} км. Свету требуется примерно 10 лет, чтобы пройти это расстояние. Если учесть те несколько часов, за которые свет проходит Солнечную систему, то можно получить представление о расстояниях до ближайших звезд.

Оценим распределение звезд в пространстве. Наблюдая за звездным небом, можно увидеть, что слабых звезд гораздо больше, чем ярких, и они распределены по небу неравномерно.

В самом Млечном пути или около него слабых звезд значительно больше, чем в отдаленных участках неба. Если смотреть в направлении, сильно удаленном от Млечного пути, можно заметить некоторое количество ярких звезд и почти не увидеть очень слабых. Таким образом, звезды не распределены в пространстве равномерно, а сосредоточены на участке, имеющем вид плоского диска. Наша Солнечная система находится где-то в этом диске.

Можно оценить размеры диска, внутри которого находятся все звезды, видимые нами на небе. Известно, что яркость звезд, еще видимых в направлении плоскости Млечного пути, в 100 раз слабее, чем звезд, видимых в перпендикулярном направлении; следовательно, радиус диска должен примерно в 10 раз превышать его толщину. Яркость наиболее слабых звезд Млечного пути приблизительно в 100 млн раз меньше яркости Сириуса, т.е. они должны находиться в 10 000 раз дальше от Земли, чем Сириус, — на расстоянии 100 000 световых лет. Таким образом, из распределения слабых и ярких звезд по небу следует, что звезды образуют круговой диск диаметром 10^5 световых лет и толщиной 10 световых лет. Причем Солнечная система находится примерно на середине радиуса. Это скопление звезд называется галактической системой или нашей Галактикой. Среднее расстояние между звездами в ней — около 10 световых лет. Это позволяет

оценить количество звезд в Галактике - около 50 млрд. Другие оценки дают цифру 100 млрд звезд.

В настоящее время известно, что в состав Галактики входят не только звезды, но также газы и пыль, которые затрудняют применение рассмотренного метода измерения расстояний. Звезда, видимая через слой газа и пыли, кажется слабее, и мы можем ошибочно заключить, что она дальше от нас, чем на самом деле. Эту трудность позволяют преодолеть другие методы. С их помощью установлено, что звезды сосредоточены в больших спиральных рукавах, выходящих из центра диска и закрученных в его плоскости.

Межгалактические пространства

Кроме нашей Галактики существуют и другие звездные скопления, например туманность Андромеды, которая при наблюдении в сильный телескоп выглядит как скопления звезд, расположенных в виде такой же дискообразной спирали, как наша Галактика. Количество таких галактик очень велико. Расстояние до них может быть оценено исходя из кажущейся яркости объектов. Например, полная яркость туманности Андромеды приблизительно такая же, как у средней звезды, удаленной на 10 световых лет. Мощные телескопы показывают, что звезд в этой галактике примерно столько же, как и в нашей,- около 50 млрд. В таком случае эта туманность в 50 млрд раз ярче отдельной звезды нашей Галактики. Тогда расстояние до туманности Андромеды должно быть в корень из (50×10^9) раз больше, чем до ближайших звезд, т.е. определяется как произведение 10 световых лет на корень из (50×10^9) , что дает около 2 млн световых лет. Получается, что расстояние от нашей Галактики до соседней приблизительно в 20 раз больше диаметра нашей Галактики. Свет, приходящий от туманности Андромеды, покинул ее тогда, когда нашу Землю населяли еще не люди, а их обезьяноподобные предки. Множество спиральных туманностей можно увидеть с помощью телескопов. Известно о миллионах таких туманностей, и расстояния между ними достигают нескольких миллионов световых лет.

Возникает вопрос: а есть ли предел у самой Вселенной? На него помогает ответить открытый в первой половине XX в. факт «разбегания» галактик. Анализ спектров галактик показал: чем дальше находятся от нас галактики, тем быстрее они удаляются. Дело в том, что при изучении спектров звезд было выявлено отсутствие в них определенных частот - темные линии в спектре, которые расположены как раз на тех местах, где находился бы свет соответствующей частоты, если бы он не поглощался холодным газом на поверхности звезд. Например, в большинстве звездных спектров наблюдаются две темные линии в фиолетовой части, указывающие на поглощение газообразным кальцием. Те же темные линии в спектрах наблюдаются в спектрах галактик, так как их излучение представляет собой сумму излучения всех входящих в них звезд. Однако эти линии находятся не при ожидаемой частоте, а смещены в сторону меньших частот. Такое смещение частоты можно истолковать как следствие движения объекта относительно наблюдателя, поскольку при удалении источника света от наблюдателя его частота уменьшается (можно сравнить со звуком автомобильного сигнала, который кажется ниже, когда автомобиль удаляется от нас). Смещение частоты пропорционально скорости и поэтому может служить для определения скорости удаляющихся объектов.

Смещение частоты света от отдаленных галактик трактуют как доказательство того, что они удаляются от нас. Скорость этого движения пропорциональна расстоянию до галактики. Движение ближайшей галактики, например туманности Андромеды, почти невозможно обнаружить, но галактики, отстоящие от нас на 100 млн световых лет, удаляются со скоростью около 3000 км/с. Связь между скоростью и расстоянием впервые установил американский астроном Э.П. Хаббл в 1929 г. На рис. 5.9 представлена последовательность оценок расстояний, расположенных в порядке их возрастания. В настоящее время наиболее сильные телескопы позволяют различать галактики, удаленные на 3 млрд световых лет и «убегающие» от нас со скоростью 90 000 км/с, что составляет

почти треть скорости света. В начале 1960-х гг. были открыты квазары. Самый далекий из известных ныне квазаров находится от нас на расстоянии около 8 млрд световых лет. Таковы размеры доступной в настоящее время нашим исследованиям части Вселенной.

Таким образом, можно создавать все более и более мощные телескопы, пытаясь наблюдать удаленные галактики, однако последние будут «убегать» от нас со скоростью, все более приближающейся к скорости света. Чем ближе скорость объекта к световой, тем меньше будет его яркость, тем менее заметным он станет. Поэтому если даже и существует множество галактик, удаленных на расстояние, большее 10 млрд световых лет, нам не удастся их увидеть: они удаляются от нас настолько быстро, что их свет никогда не сможет достичь Земли.

§ 5.4. Методы оценки времени

Малые интервалы времени

Оценим временные интервалы различной длительности [3, 7, 8, 15]. Сравнительно малой и хорошо воспринимаемой человеком единицей времени является 1 с - это приблизительно интервал между двумя ударами сердца. Наиболее короткий промежуток времени, воспринимаемый человеком, составляет 0,1 с (длительность щелчка пальцами). Также известна способность глаза различать отдельные изображения. Так, если кинолентку протягивать со скоростью менее 14 кадров в 1 с, то человек различит отдельные кадры. Смена изображения со скоростью 24 кадра в 1 с приводит к возможности видеть непрерывное изменение явлений, а 25-й кадр уже не воспринимается глазом.

Развитие науки и человеческой практики привело к потребности измерять время, составляющее тысячные, миллионные, миллиардные и даже биллионные доли секунды. Например, в течение 1 с бегун продвигается на 5—10 м и совершает много сложных движений, из которых каждое длится лишь сотые доли секунды; от правильности построения этих движений зависит его победа. В автомобильном двигателе вал делает несколько тысяч оборотов в 1 мин: в течение сотых долей секунды в двигателе резко меняются давление и механическое напряжение, испытываемое отдельными деталями.

Для определения географических координат, в первую очередь долготы местности, необходимо точно знать время в измеряемой точке. Ошибка в отсчете времени, равная 1 мин, при определении долготы на широте экватора соответствует искажению расстояния на 27,6 км, ошибка в 1 с влечет за собой искажение на 460 м и ошибка в 0,001 с - на 0,46 м. В ряде случаев определять координаты требуется с высокой точностью. Например, в геологии обсуждается проблема перемещения одних материков по отношению к другим. Скорость перемещения обычно не превышает несколько сантиметров в год. Чтобы измерить перемещение одной точки по отношению к другой на земном шаре, следует производить замеры в течение нескольких лет, обеспечивая погрешность определения моментов времени порядка тысячных долей секунды.

Для того чтобы измерять время, требуется выбрать систему отсчета, научиться хранить и передавать точное время. Долгие годы единственной системой отсчета было вращение

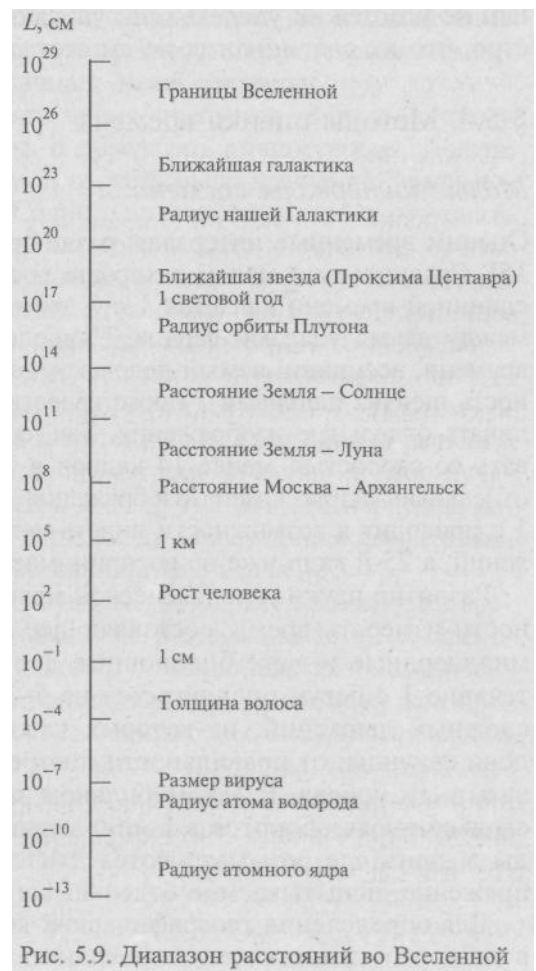


Рис. 5.9. Диапазон расстояний во Вселенной

Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, но оказалось, что этот эталон времени не всегда достаточно точен. Дело в том, что орбита Земли представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Вследствие этого Земля то ближе, то дальше от него и соответственно движется то быстрее, то медленнее. Движение Земли вокруг своей оси также неравномерно, в частности сезонная нерегулярность достигает 0,001 с. Поэтому в 1960-х гг. Международный комитет мер и весов принял решение использовать в качестве эталона астрономические атомно-лучевые цезиевые часы. При этом $1 \text{ с} = 9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Обычный стрелочный секундомер измеряет промежутки времени между двумя моментами с погрешностью до 0,1 с. Электрический стрелочный секундомер с вращающимися механическими частями позволяет производить отсчет промежутков времени с погрешностью до 0,01 с. Оценка более быстрых процессов с помощью механических устройств затруднена, так как их детали обладают большой инерцией. Современные технологии, основанные на измерении колебаний атомов, позволяют достигать точности в пределах 10^{-12} - 10^{-14} с, т.е. с максимальной ошибкой в 1 с при измерении интервалов от 30 тыс. до 3 млн лет.

Для изучения быстрых процессов существует достаточно большое количество методов: специальная киносъемка, оптические устройства, электронные измерительные схемы и т.д. Для исследования ряда чрезвычайно быстрых ядерных процессов применяются различного типа счетчики (Гейгера - Мюллера, сцинтилляционный и др.).

В ряде случаев требуется не только измерять интервалы времени между двумя событиями, но и получать непрерывную запись быстрых процессов с помощью записывающих устройств. Для записи не очень быстрых процессов применяют самописцы различных типов со скоростью движения ленты от нескольких сантиметров в сутки до нескольких метров в секунду. Для увеличения скорости записи уменьшают вес подвижных частей прибора. Так, в шлейфовом осциллографе для записи вместо стержня с пером используется луч света, что позволяет записывать изменения величин, происходящие в течение тысячных и десятитысячных долей секунды. Самописцы и шлейфовые осциллографы применяются в сейсмологии для записи упругих колебаний земной коры, в биологии и медицине - для записи токов сердца (электрокардиография) и т.д. Процессы, протекающие с еще большей скоростью, фиксируют с помощью электронно-лучевого осциллографа, где запись процессов осуществляется посредством пучка электронов. С помощью такого осциллографа удалось подробно изучить грозовые разряды. Оказалось, что скорость движения молнии составляет около 0,1 скорости света, причем молния движется толчками: сначала она пробивает перед собой узкий проводящий канал, электризуя окружающий воздух, потом по этому каналу устремляется основной разряд, расширяющий его, затем вновь пробивается узкий проводящий канал и т.д.

Для фиксации быстрых явлений используют киносъемку. Как уже говорилось, при обычной киносъемке в 1 с получают 24 отдельных кадра. Для получения замедленной съемки скорость движения ленты в киносъемочном аппарате увеличивается до 120-240 кадров в 1 с; при демонстрации такого фильма со скоростью 24 кадра в 1 с движения всех тел представляются замедленными. Этот метод киносъемки позволил выявить особенности ряда процессов в живой и неживой природе: процессы разрушения и деформации различных материалов; разрушение почвы при падении капель дождя; особенности полета насекомых; способ захвата хамелеоном приманки; данные о строении бьющегося сердца животного, а также о работе отдельных мышечных волокон сердца до и после нарушения его работы; данные для решения задач баллистики, например при изучении полета снаряда после вылета его из дула орудия, механизма пробивания брони и т.п. В современных фотографических устройствах разрешающее время удалось довести до миллиардной доли секунды. Это значит, что можно зафиксировать разность во времени прихода двух световых лучей с разностью хода меньше 1 м.

Еще более быстродействующие приборы потребовались при изучении элементарных частиц, атомного ядра и ядерных реакций. Например, многие радиоактивные изотопы имеют чрезвычайно малый период полураспада (промежуток времени, в течение которого количество радиоактивного вещества уменьшается вдвое), неодинаковый у различных изотопов одного и того же элемента: период полураспада полония-210 составляет 138,3 дня, полония-216 — 0,16 с, полония-214 - $1,58 \cdot 10^{-4}$ с, полония-213 - всего лишь $4,2 \cdot 10^{-6}$ с, а полония-212 - $3 \cdot 10^{-7}$ с. Некоторые элементарные частицы, например присутствующие в космическом излучении мезоны и гипероны, крайне неустойчивы; так, средняя продолжительность жизни мюонов составляет миллионные доли секунды. Другой пример очень быстрых процессов — переход возбужденного ядра в нормальное состояние, при котором испускаются гамма-кванты. В частности, возбужденное состояние ядра лития-7, получающегося в результате ядерной реакции взаимодействия бора с нейтроном, длится около десятибиллионной доли секунды (10^{-13} с).

Современные приборы позволяют прямыми методами измерять промежутки времени около 10^{-13} с. Более короткие промежутки, в течение которых протекают некоторые ядерные процессы, были получены на основе наблюдения косвенных признаков и теоретических расчетов. Так, в 1950-х гг. была открыта целая группа относительно тяжелых и чрезвычайно короткоживущих частиц - резонансов. Их открытие связано с разработкой специальной измерительной техники — пузырьковой камеры, представляющей собой сосуд со смотровыми окнами, заполненный жидким водородом. Пролетая через такую камеру, заряженная частица создает на своем пути цепь пузырьков газообразного водорода - видимый след, который можно наблюдать и фотографировать. Среднее время жизни резонансов оказалось настолько малым, что определить его можно было только с помощью расчетов, — около 10^{-22} — 10^{-24} с.

Исчисление лет и исторических эпох

Естественные единицы времени, с которыми человек постоянно сталкивается в повседневной жизни, - день и год. Они опираются на изменения, происходящие в окружающем мире, и связаны с вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. Еще одной привычной величиной является лунный месяц, который связан с отсчетом фаз Луны. Попытки объединить эти системы отсчета привели человечество к созданию календаря - системы счисления длительных промежутков времени, основанной на периодичности видимых движений небесных тел и устанавливающей порядок для отсчета дней в году. Если бы между длительностью суток и длительностью года, т.е. временем обращения Земли вокруг своей оси, Луны вокруг Земли и временем обращения Земли вокруг Солнца, существовало простое отношение, то счет дней в месяце и году не представлял бы большого труда. Однако с погрешностью до 0,1 с длительность так называемого тропического года (промежутка времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия) составляет 365 суток 5 ч 48 мин 46,1 с, или 365,2422 дня, а длительность лунного синодического месяца (периода смены лунных фаз) - 29,5306 дня.

Считается, что более или менее регулярный счет времени связан с развитием земледелия, скотоводства и мореплавания [8]. Первые требования к счету времени и методы его измерения были достаточно простыми: славяне и другие земледельческие народы устанавливали продолжительность года как промежуток от одной жатвы до другой; индейцы Америки отмеряли год по появлению снега, австралийцы - по наступлению периода дождей и т.д.

Развитие оросительного земледелия, возникновение государств, рост городов и расширение торговых связей потребовали улучшения и уточнения счета времени. Тогда появились лунные календари. По-видимому, один из первых лунных календарей был введен около 4000 лет назад в Древнем Вавилоне. Многие древние государства прошли через использование лунного календаря. В ряде мусульманских стран до настоящего

времени пользуются лунным календарем, где начало календарных месяцев соответствует моментам новолуний. Лунный месяц (синодический) составляет 29 суток 12 ч 44 мин 2,9 с, а 12 таких месяцев дают лунный год продолжительностью 354 суток, т.е. на 11 суток короче тропического года.

В VI в. до н.э. в Китае и V в. до н.э. в Греции было обнаружено, что каждые 19 солнечных лет новолуние совпадает с летним солнцестоянием. Это позволило перейти к лунно-солнечному календарю. В ряде стран Юго-Восточной Азии, Иране, Израиле и поныне действуют разновидности лунно-солнечного календаря, в котором смена фаз Луны согласуется с началом астрономического года. В таких календарях важную роль играет Метонов цикл, названный в честь древнегреческого ученого Метона, - период в 19 солнечных лет, равный 235 лунным месяцам (6940 суток).

В I в. до н.э. римский император Юлий Цезарь приказал упорядочить календарь. По предложению египетского астронома Созигена в Древнем Риме был принят солнечный календарь — юлианский. Для ровного счета в этом календаре три года считались содержащими по 365 дней, а каждый четвертый - 366 дней. Счет дней по юлианскому календарю называют старым стилем. В юлианском календаре средняя длительность года в интервале 4 лет составляла 365,25 суток, что на 11 мин 14 с длиннее тропического года. Это дает погрешность 3 дня в 400 лет.

В настоящее время наиболее распространен солнечный григорианский календарь, введенный папой Григорием XIII в 1582 г. (новый стиль). В нем считаются високосными не 100 из 400 лет, как в юлианском календаре, а лишь 97 из 400. Поэтому длительность года в григорианском календаре в среднем равна 365,2425 суток, что лишь на 26 с превышает тропический год. В России григорианский календарь введен с 14 февраля 1918 г. Различие между старым и новым стилями в XVIII в. составляло 11 суток, в XIX в. - 12 суток и в XX в. - 13 суток.

Вопрос об улучшении календаря поднимался неоднократно (М. Мastroфини, 1834; О. Конт, 1849; Г. Армелин, 1888, и т.д.). В 1923 г. в Женеве при Лиге Наций был образован Международный комитет по реформе календаря. За время своего существования Комитет рассмотрел и опубликовал несколько сот проектов. В 1954 и 1956 гг. проекты нового календаря обсуждались на сессиях Экономического и Социального советов ООН, однако принятие окончательного решения было отложено. В настоящее время одним из наиболее подходящих считается календарь, в котором год состоит из 12 месяцев и делится на 4 квартала, содержащих по 91 дню, или 13 недель. В каждом квартале первый месяц имеет 31 день, а два последующих по 30 дней. Первое число нового года всегда соответствует одному и тому же дню недели - воскресенью; каждый квартал начинается с воскресенья и завершается субботой. В каждом месяце по 26 рабочих дней. Так как этот календарный год содержит 364 дня, то периодически вставляются вненедельные праздничные дни, например после 30 декабря, а один раз в четыре года - еще и после 30 июня.

Еще одной проблемой, связанной с оценкой времени, был и остается до настоящего времени выбор точки отсчета времени, который в разные эпохи основывался на различных соображениях. Так, богословы неоднократно предлагали «мировые эры», где за начало отсчета принималось «сотворение мира»; всего таких эр было придумано около 200. В самой длинной из них «сотворение мира» относилось к 6984 г. до нашего летосчисления, в самой короткой - к 3483 г. до нашего летосчисления.

Особое место занимает древнеиндийское летосчисление. В его основе лежит год, состоящий из 360 дней, выделяются зоны (или кальпы) длительностью 4,32 млрд лет - один день в жизни Брахмы. Каждый зон делится на 1000 махаюг по 4,32 млн лет. Последняя махаюга состоит из четырех периодов: деваюги - царства богов, или золотого века, третаюги — серебряного века, дванаариюги - медного века, калиюги - железного века, века греха, в котором живем мы.

В настоящее время получила распространение христианская эра, в которой точкой отсчета является Рождество Христово. Эта эра была введена на основании расчетов,

сделанных римским монахом Дионисием Малым в 525 г. от Рождества Христова. В России вплоть до XVIII в. была в ходу византийская эра от «сотворения мира». Петр I своим указом ввел эру от Рождества Христова, и 1 января 7208 г. византийской эры было приказано считать 1 января 1700 г. от Рождества Христова. К XIX в. счет от Рождества Христова был введен во всех христианских странах. В исламских странах точкой отсчета считается «хиджра» - год бегства пророка Мохаммеда из Мекки в Медину. Эта эра была введена халифом Омаром в 634—644 гг. Хиджра была отнесена Омаром к 622 г. Самой поздней была введенная во Франции «эра республики», отсчет в которой велся от дня провозглашения республики 22 сентября 1792 г. Этот календарь был отменен Наполеоном, восстановлен во время Парижской коммуны и перестал действовать после ее гибели.

Еще большие, чем годы и десятилетия, отрезки времени требуются для изучения прошлого человечества, возникновения, развития и гибели древних культур, без чего нельзя понять современное состояние общества и перспективы его развития. По археологическим находкам (орудия труда, предметы домашнего обихода, вооружение и т.д.) можно многое узнать о жизни людей многие тысячи лет назад, о связях между древними народами. Установить даты помогают исторические памятники и древние хроники, содержащие записи различных событий (войн и стихийных бедствий, смены правителей и династий и т.д.). Иногда одно и то же событие отмечает несколько независимых источников или само событие таково, что позволяет точно определить время, когда оно произошло. Например, из древней китайской летописи известно о двух астрономах, которые в 2200 г. до н.э. не предсказали своевременно затмения Солнца и за это лишились голов. Сопоставление летописи и результатов современных вычислений затмения дает точную дату событий. Древнейшие памятники письменности позволяют проследить события шумерской и египетской цивилизаций давностью до 4—5 тыс. лет.

Геологические интервалы времени

Один из методов оценки времени связан с определением скорости накопления отложений. Так, в Испании была открыта пещера, которая в течение долгого времени служила обиталищем то для людей, то для зверей. Они жили в ней, умирали, а земля, слой за слоем, прикрывала их останки. В общей сложности в этой пещере образовались отложения мощностью 13,5 м, состоящие из многих слоев. В верхнем слое на небольшой глубине были обнаружены треугольные кинжалы из бронзы, в следующем слое - кости северного оленя и изготовленные из кости резцы, далее - каменные ножи и сверла, затем - кости носорога и пещерного медведя, а на самом дне пещеры были найдены грубо выделанные каменные топоры и скребки. Была подсчитана скорость осадконакопления и сопоставлена с данными, полученными другими методами. Это позволило подробно изучить историю пещеры приблизительно за 50 тыс. лет.

Из других методов изучения длительных процессов особый интерес представляет оценка возраста горных сооружений. Пусть гора возвышается примерно на 2000 м и в основании имеет около 2000 м. Простой расчет объема такого гигантского конуса показывает, что он состоит примерно из $2 \cdot 10^9$ м³ горной породы. Дождь, лед и ветер и т.п. постепенно разрушают горы. В среднем от каждого 1 м² породы в год отламывается обломок объемом несколько кубических сантиметров. Следовательно, за один год со всей горы осыплется примерно 10^3 м³ породы. Через миллион лет половина горы должна разрушиться. Так как при этом склоны станут менее крутыми, то скорость разрушения снизится и жизнь горы будет длиться несколько миллионов лет.

Скорость разрушения континентов можно рассчитать, проанализировав количество наносов (измельченной горной породы, песка и почвы), которое выносится реками в моря. Можно измерить количество наносов, увлекаемое дождями и переносимое реками в моря за год. Если равномерно распределить это количество по всей площади, с которой его собирает вода, текущая в реках, то получится слой толщиной около 1/300 см. За миллион лет это даст слой толщиной 30 м. Поскольку уносимая реками порода не поступает

равномерно отовсюду, а только с тех участков, где есть уклон, то за миллион лет должны быть уничтожены неровности земной поверхности высотой много сотен метров. Следовательно, горы и холмы могли быть разрушены за несколько десятков миллионов лет, но этого не произошло из-за влияния внутренних (эндогенных) сил на формирование земной поверхности.

Возможность отсчета времени дают методы измерения времени по годичным кольцам деревьев (эта шкала времени простирается до нескольких тысяч лет); по отложениям ленточных глин, песка, солей; по изменениям намагниченности горных пород и т.д.; по смене различных форм жизни. Последний метод основан на том факте, что на протяжении тысячелетий и миллионов лет одни виды растений и животных сменяли другие. Большинство из них, пережив период расцвета и широкого распространения, погибло и уступало место другим. Изучив последовательность, в которой происходила смена одних видов другими, и оценив продолжительность существования каждого из них, можно составить шкалу времени. Такие «часы» основаны на сопоставлении различных событий между собой и, следовательно, показывают относительное время.

В начале XX в. для отсчета больших промежутков времени были разработаны «радиоактивные часы», которые позволяют определять с приемлемой точностью абсолютный возраст различных объектов - археологических находок, горных пород и др. - в отличие от методов относительной хронологии, когда возраст объекта определяется из сопоставления его с возрастом других объектов, например остатков спор и пыльцы растений, раковин различных типов и т.д.

«Радиоактивными часами» называют группу методов, в которых явление радиоактивного распада ядер различных изотопов используется для определения больших промежутков времени. Исследования радиоактивных веществ показали, что скорость их распада постоянна, например период полураспада висмута-212 равен 60,5 мин, урана-238 - 4,5 млрд лет, а углерода-14 - 5730 годам. Поэтому процесс радиоактивного распада может быть использован для отсчета промежутков времени, причем для измерения интервалов времени имеется достаточно широкий выбор изотопов.

Принцип измерения больших промежутков времени с помощью радиоактивных часов очень прост и в какой-то мере подобен принципу работы огненных часов, широко использовавшихся в Древнем Китае. В огненных часах специальным образом приготовленная палочка горит с постоянной и заранее известной скоростью. Зная ее начальную длину, скорость сгорания и измерив длину несгоревшей части, можно определить, сколько времени прошло от того момента, когда палочка была зажжена. Конечно, аналогия не полная, однако принцип «радиоактивных часов» именно таков.

С их помощью был установлен возраст старейших горных пород, найденных на Земле, — 3,8 млрд лет. Очевидно, что сама Земля старше, но из-за неоднократного преобразования земной поверхности нельзя найти более старые горные породы. Результаты изучения содержания радиоактивных веществ и продуктов их распада в первичном метеоритном материале позволили сделать заключение, что Земля существует около 4,6 млрд лет. Старейшие следы жизни насчитывают более 1 млрд лет - тогда существовали примитивные бактерии. Водоросли и губки имеют возраст около 600 млн лет. Обнаружены окаменелости рыб и моллюсков, живших 300 млн лет назад. Пресмыкающиеся появились примерно 275 млн лет назад. Им предшествовало появление около 400 млн лет назад деревьев и цветов. Млекопитающие развились только 150 млн лет назад, а человеческая линия эволюции выделилась около 5 млн лет назад.

Космические интервалы времени

Рассмотрим методы оценки возраста звезд, галактик, Вселенной. Возраст Солнца и других звезд можно определить с помощью энергетического подхода. Подсчитав запас энергии в звезде и измерив скорость, с которой она расходует энергию, оценивают длительность ее существования. Если определить, какую часть своего запаса энергии

звезда уже израсходовала, то можно сказать и сколько времени она уже существует, и сколько ей осталось существовать.

Энергия Солнца и многих других звезд - результат ядерных реакций синтеза гелия из водорода. Следовательно, для того чтобы определить возраст Солнца и звезд, нужно измерить относительное содержание водорода и гелия. Состав того или иного небесного тела определяют методом спектрального анализа, который основан на том, что каждое вещество, в том числе и в смеси нескольких веществ, можно отличить от всех остальных по относительной яркости отдельных свойственных каждому веществу линий спектра. По составу света, излучаемого небесными телами, с помощью спектрального анализа определяется химический состав звезд. Так, по данным А.Б. Северного, Солнце содержит 38% водорода, 59% гелия, остальных элементов лишь 3%. В 1960 г. на основании данных о массе, светимости и составе Солнца, а также детальных расчетов предполагаемой его эволюции Д. Ламбер получил возраст Солнца 12 млрд лет ($12 \cdot 10^9$ лет). По современным оценкам, запасов водородного «горючего» в Солнце хватит не менее чем на 10 млрд лет.

Солнце является рядовой звездой нашей Галактики, которая медленно вращается вокруг собственного центра. Угловая скорость вращения Галактики убывает от ее центра к периферии так, что период обращения в районе Солнца составляет, по разным оценкам, 215 - 275 млн лет. Этот период обычно называют галактическим годом. Очевидно, что возраст Галактики следует определять по самым старым звездам из входящих в нее. В 1961 г., исследуя ряд наиболее старых звезд, американский астроном Х.К. Арп для старейшего рассеянного скопления получил возраст $16 \cdot 10^9$ лет, а возраст одного из старейших шаровых скоплений оказался равным даже $20 \cdot 10^9$ лет. По оценкам английского астрофизика Ф. Хойла и др., возраст некоторых близких к Солнцу звезд составляет $(10-15)10^9$ лет. В настоящее время возраст Галактики удалось определить и другими методами.

Для оценки возраста Вселенной есть несколько подходов, например использующий определение возраста тяжелых элементов (элементов тяжелее свинца - тория, урана и т.п.). Дело в том, что в настоящее время ни на Земле, ни на Солнце нет условий для их образования, но эти вещества существуют и с течением времени количество их убывает в результате радиоактивного распада. Значит, когда-то они образовались.

Г.А. Гамов и другие выдвинули следующую гипотезу образования тяжелых элементов. Изначально существовало грандиозное скопление праматерии - илема, в недрах которого произошел взрыв, в результате чего развились огромные температура и давление. При этом очень бурно протекали ядерные реакции, которые привели к синтезу различных элементов, в том числе и тяжелых. Взрыв был кратковременным, поэтому вызванное им быстрое расширение скопления привело к охлаждению вещества. Таким образом, синтез элементов был прерван и полученный состав вещества зафиксирован.

По другой гипотезе (Дж. Бербидж и др.), образование различных элементов происходит в недрах некоторых звезд. Тяжелые элементы образуются при температуре несколько миллиардов градусов и плотности, достигающей до 10^8 г/см³. Такая высокая температура и плотность создаются в недрах сверхновых звезд при их катастрофическом сжатии и последующем взрыве. Во время вспышки сверхновая звезда производит тяжелые элементы и разбрасывает их во все стороны (Солнечная система в свое время получила некоторую порцию этих тяжелых элементов). В Галактике вспышки сверхновых звезд происходят приблизительно один раз в 100 лет. Таким образом, Солнце и Солнечная система при своем зарождении и формировании могли получить тяжелые элементы от одной или нескольких сверхновых звезд. Определение возраста тяжелых элементов сводится к нахождению промежутка времени, отделяющего нас от данных космических событий. Расчеты по соотношению изотопов урана, тория, рения, осмия дали значения от $7,1 \cdot 10^9$ до $8,2 \cdot 10^9$ лет. Однако этот промежуток времени еще не является возрастом Вселенной. Ведь до того, как та или иная звезда вспыхнула как сверхновая, произвела тяжелые элементы и выбросила их в космос, в частности и в ту ее область, где формировалась Солнечная система, должна была образоваться и пройти некоторый путь

развития сама сверхновая звезда. Учет этих и некоторых других обстоятельств дал основания Д. Шрамму предположить, что возраст Вселенной от 7 млрд до 15 млрд лет, а наиболее вероятное его значение - около 10 млрд лет.

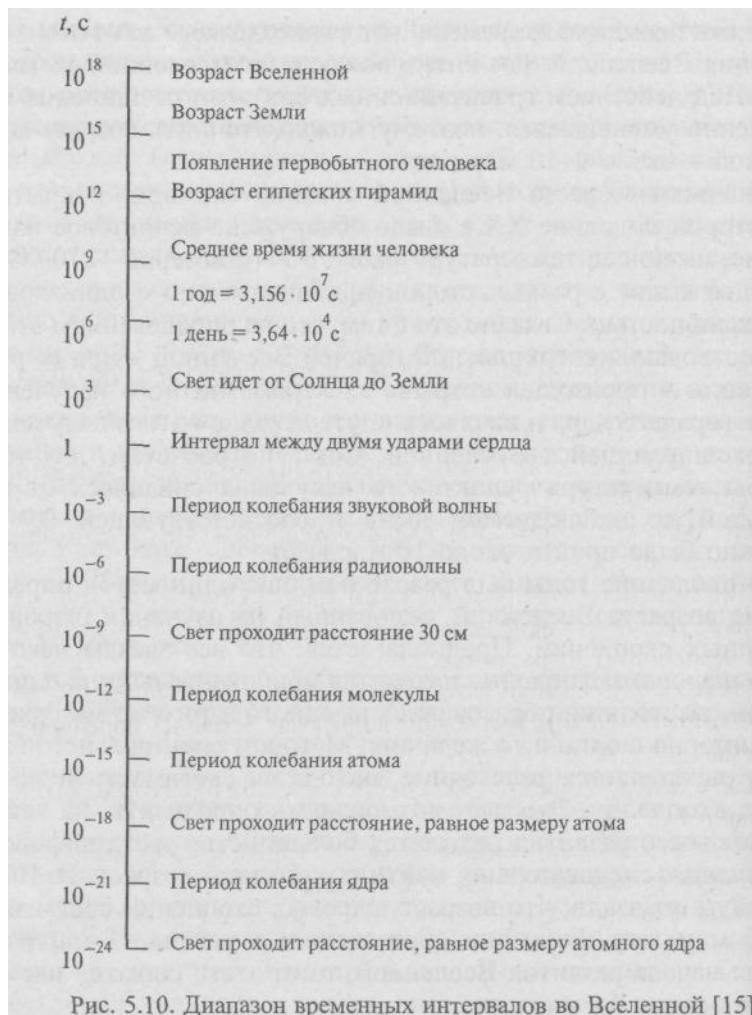
Другой метод оценки возраста Вселенной связан с обнаружением эффекта «разбегания» галактик, который мы рассматривали в § 5.3. Все небесные тела имеют собственные движения, причем все они движутся в направлении «от нас» и, чем дальше от Земли они находятся, тем больше их скорость. Из факта «разбегания» галактик не следует, что Солнечная система занимает особое положение. Если на воздушный шарик нанести метки, а затем его раздувать, то расстояние между каждой меткой и всеми остальными будет увеличиваться, и это справедливо для любой метки. Аналогично: видимое с Земли «разбегание» галактик следует интерпретировать как общее расширение Вселенной.

Исследуя движение удаленных галактик, американский астроном Э.П. Хаббл обнаружил, что их скорость пропорциональна расстоянию от Земли: $v = Hr$; где v - скорость движения космического тела; r — его расстояние от Земли; H — постоянная Хаббла. Эта формула, называемая законом Хаббла, позволяет сделать вывод, что некогда Вселенная имела очень малый объем и соответственно сверхвысокую плотность, а также определить промежуток времени, который отделяет нас от этого состояния Вселенной. Расчеты дают возраст Вселенной 18 млрд лет. Под действием гравитационных сил темп расширения постепенно уменьшается, поэтому можно уточнить возраст Вселенной - около 9-10 млрд лет.

Оценкам возраста Вселенной помогло еще одно открытие. Во второй половине XX в. было обнаружено реликтовое излучение, имеющее температуру около 3 К (примерно -270 °С) и идущее к нам с разных сторон приблизительно с одинаковой интенсивностью. Связано это с тем, что на определенном этапе существования сверхплотной горячей Вселенной - при ее расширении — произошел «отрыв» электромагнитного излучения от ее горячего ядра и началось «путешествие» этого излучения по расширяющейся Вселенной. Согласно расчетам, для того чтобы температура реликтового излучения снизилась от начальной до наблюдаемой ныне и соответствующей 2,7 К, должно было пройти около 10 млрд лет.

В последние годы был разработан еще один метод определения возраста Вселенной, основанный на изучении шаровых звездных скоплений. Предполагается, что все звезды некоторого шарового скопления находятся приблизительно на одинаковом расстоянии, образовались из одного и того же материала и примерно в одно и то же время. Методом спектрального анализа определяется расстояние, находятся светимость и масса звезд скопления. Это дает возможность определить, на каком этапе своего развития находится большинство звезд шарового скопления, следовательно, найти его средний возраст. И. Ибен и Р. Руд показали, что возраст шаровых скоплений составляет 13 ± 3 млрд лет. Если они образовались в течение 1 млрд лет после начала развития Вселенной, то от этого события нас отделяет около 14 млрд лет.

Сравним результаты, которые дают рассмотренные методы определения возраста Вселенной. Оценка по скорости расширения Вселенной дает около 18 млрд лет; оценка по возрасту тяжелых элементов с учетом периода образования Солнечной системы и периода образования сверхновых звезд — около 10 млрд лет; по длительности существования реликтового излучения — около 10 млрд лет; по длительности существования шаровых звездных скоплений с учетом периода их образования – около 14 млрд лет. Если учесть сложность задачи и то, что они найдены различными методами, можно считать степень их совпадения вполне удовлетворительной. Итак, по современным данным естествознания, возраст Вселенной составляет 10-18 млрд лет, а его наиболее вероятное значение - 13-15 млрд лет.



Таким образом, окружающий мир имеет не только сложную пространственную иерархию, в нем протекает большое количество процессов, оцениваемых разными интервалами времени - от времени существования резонансов до возраста Вселенной. На рис. 5.10 приведена «лестница времен», где величины, которыми мы оценивали время, расположены в порядке их возрастания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как изменялись взгляды на то, что такое пространство и время? С чем это связано?
2. В чем суть субстанциальной и реляционной концепций пространства и времени?
3. Как вы понимаете биологическое и психологическое пространство и время?
4. Как трактовал И. Ньютон пространство и время?
5. Что такое мерность? Какова мерность пространства и какова мерность времени?
6. Что такое симметрия? Как выражаются симметрия и асимметрия в природе?
7. Обратимы или нет пространство и время? Обоснуйте свой ответ.
8. Какие геометрические способы описания пространства вы знаете? В чем состоит их различие?
9. Какие методы оценки размеров микрообъектов вы знаете?
10. Как можно оценить расстояния в пределах Земли и Солнечной системы?
11. Какие методы оценки межзвездных и межгалактических пространств вы знаете?
12. Каковы границы познаваемой нами Вселенной на современном уровне естествознания? С чем они связаны?
13. Какие методы оценки малых интервалов времени вы знаете?
14. Как исчисляются годы и исторические эпохи?
15. Как оценить геологические и космические интервалы времени?
16. Каков возраст Вселенной, которую мы наблюдаем? На основании чего делается

заклучение о ее возрасте?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахундов М.Д. Концепции пространства и времени: истоки, эволюции, перспективы. М., 1982.
2. Битюцкая Л.А., Еремин В.С., Чесноков О.Б., Дементьева О.Б. Естествознание. М., 1999.
3. Вайскопф В. Наука и удивительное. Как человек понимает природу. М, 1965.
4. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М., 1975.
5. Время и возраст рельефа /Отв. ред. Н.А. Логачев, Д.А. Тимофеев, Г.Ф. Уфимцев. Новосибирск, 1994.
6. Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. М., 1969.
7. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания. Новосибирск, 1997.
8. Завельский Ф.С. Время и его измерение. М., 1987.
9. Зимов С.А. Азбука рисунков природы. М., 1993.
10. История и методология естественных наук. М., 1963. Вып. 2.
11. Конструкции времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. Ч. 1. Междисциплинарные исследования / Под ред. Б.В. Гнеденко. М., 1996.
12. Концепции современного естествознания / Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М., 1997.
13. Молчанов Ю.Б. Проблема времени в современной науке. М., 1990.
14. Мостпаненко А.М. Пространство-время и физическое познание. М., 1975.
15. Мэрион Дж.Б. Физика и физический мир. М., 1975.
16. Пуанкаре А. О науке. М., 1983.
17. Райхенбах Г. Философия пространства и времени. М., 1985.
18. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии. М., 1974.
19. Философские проблемы естествознания. М., 1985.
20. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. Л., 1985.
21. Штейнман Р.Я. Пространство и время. М., 1962.
22. Шубников А.В., Копчик В.А. Симметрия в природе и искусстве. М., 1972.
23. Эйнштейн А. Эволюция физики. М., 2001.
24. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., 1966.

Глава 6

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

§ 6.1. Иерархичность миров и границы нашего познания

Проблема выделения фундаментальных физических теорий

В настоящее время считается, что именно физическая картина мира лежит в основе описания природы. В физике приходится иметь дело с разнообразными величинами, значения которых охватывают огромный диапазон. Так, интервал известных нам длин простирается от размеров элементарных частиц до размеров Вселенной, интервал времен - от периодов полураспада короткоживущих элементарных частиц до возраста Вселенной, интервал масс — от массы электрона до масс галактик.

Периодически предпринимались и предпринимаются попытки создать некую универсальную теорию, которая охватывала бы весь разнообразный мир физических объектов и явлений. Однако пока не удалось, а большинство физиков считает, что никогда

не удастся, создать единую, всеобъемлющую теорию, описывающую все разнообразие явлений, с которыми мы сталкиваемся. Сейчас существует много теорий, каждая из которых имеет ограниченную область применения. Например, законы механики Ньютона несправедливы для тел, развивающих очень большие скорости. В таких случаях пользуются специальной теорией относительности. Однако эта теория не применима к области чрезвычайно больших масс, а также для объяснения некоторых явлений, происходящих на огромных галактических расстояниях; при этом привлекают общую теорию относительности. Когда речь заходит о явлениях атомных и ядерных масштабов, механика Ньютона уступает место квантовой теории, а в случаях больших скоростей - релятивистской квантовой теории.

В настоящее время не существует абсолютно четких критериев области применения той или иной физической концепции. Из опыта известно, что теорию относительности следует использовать, когда скорости тел приближаются к скорости света, а механика Ньютона правильно описывает поведение тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света. Однако непонятно, когда именно нужно переходить от ньютоновской механики к релятивистской. Ответ на этот вопрос зависит от того, с каким конкретно случаем мы имеем дело, и от того, с какой точностью надо решать задачу.

Физическая картина мира складывается из некоторого количества фундаментальных концепций, но нет совпадения мнений относительно того, какие это концепции. Например, В. Гейзенберг полагал, что в современной физике существуют по крайней мере четыре фундаментальных замкнутых непротиворечивых теории: классическая механика, термодинамика, электродинамика, квантовая механика, каждая из которых в своей области приложимости наилучшим образом описывает реальность. (Классическая и квантовая механика будут рассмотрены в § 6.2 и 6.4.)

Обычно, когда говорят об *электродинамике*, подразумевают классическую электродинамику - теорию электромагнитных процессов в различных средах и вакууме. Она охватывает совокупность явлений, в которых основную роль играют взаимодействия между заряженными частицами, осуществляемые посредством электромагнитного поля. Все электромагнитные явления можно описать с помощью уравнений Максвелла, которые устанавливают связь величин, характеризующих электрические и магнитные поля, с распределением зарядов и токов в пространстве. Содержание четырех уравнений Максвелла для электромагнитного поля качественно сводится к следующему: магнитное поле порождается движущимися зарядами и переменным электрическим полем (током смещения); электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями (вихревое поле) порождается переменным магнитным полем; силовые линии магнитного поля всегда замкнуты (т.е. оно не имеет источников - магнитных зарядов, подобных электрическим); электрическое поле с незамкнутыми силовыми линиями (потенциальное поле) порождается электрическими зарядами — источниками этого поля. Из теории Максвелла вытекают конечность скорости распространения электромагнитного взаимодействия и существование электромагнитных волн.

Наряду с классической выделяют квантовую электродинамику — квантовую теорию электромагнитного поля и его взаимодействия с заряженными частицами (главным образом электронами и позитронами, мюонами). В основе квантовой электродинамики лежит подтвержденное на опыте представление о дискретности электромагнитного излучения. Кванты электромагнитного поля - фотоны - являются носителями минимально возможных при конкретной частоте поля энергии и импульса. В рамках квантовой электродинамики делается вывод о том, что электромагнитному излучению присущи не только волновые, но и дискретные, корпускулярные свойства, а взаимодействие электромагнитного излучения с заряженными частицами рассматривается как поглощение и испускание частицами фотонов. Обмен фотонами обуславливает электромагнитное взаимодействие заряженных частиц. Частица может испустить фотоны, а затем сама их поглотить. Квантовая электродинамика достаточно точно описывает испускание,

поглощение и рассеяние излучения веществом, электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами и т.п.

Термодинамика в классическом понимании - это раздел физики, изучающий наиболее общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими равновесными состояниями.

Термодинамика строится на основе фундаментальных принципов - начал термодинамики, которые являются обобщением многочисленных наблюдений и результатов экспериментов. Термодинамика возникла в первой половине XIX в. в связи с развитием теории тепловых машин и установлением закона сохранения энергии. Различают химическую термодинамику, техническую термодинамику и термодинамику разных физических явлений.

В настоящее время быстро развивается термодинамика неравновесных процессов - раздел физики, в котором изучаются неравновесные процессы (диффузия, вязкость, термоэлектрические явления и др.) на основе общих законов термодинамики. При количественном изучении этих процессов, в частности при определении их скоростей в зависимости от внешних условий, составляются уравнения баланса массы, импульса, энергии и энтропии для элементарных объемов системы, и эти уравнения исследуются совместно с уравнениями рассматриваемых процессов. Термодинамика неравновесных процессов является теоретической основой исследования открытых систем, в том числе живых существ.

Фундаментальные типы физического взаимодействия

В современной физике принято представление о четырех фундаментальных типах физического взаимодействия:

◇ *сильное взаимодействие* - самое сильное из фундаментальных взаимодействий элементарных частиц. В этом взаимодействии участвуют элементарные частицы, именуемые адронами. Сильное взаимодействие превосходит электромагнитное взаимодействие примерно в 100 раз, его радиус действия около 10^{-13} см. Частный случай сильного взаимодействия - ядерные силы;

◇ *электромагнитное взаимодействие* по «силе» занимает следующее положение после сильного взаимодействия. В нем участвуют частицы, имеющие электрический заряд (или магнитный момент). Переносчиком электромагнитного взаимодействия между заряженными частицами является электромагнитное поле, или кванты поля - фотоны. Это взаимодействие является дальнедействующим. Оно определяет взаимодействие между ядрами и электронами в атомах и молекулах, поэтому к электромагнитному взаимодействию сводится большинство сил, проявляющихся в макроскопических явлениях: силы упругости, трения, химическая связь и т.д. Электромагнитное взаимодействие приводит также к излучению электромагнитных волн;

◇ *слабое взаимодействие* гораздо слабее не только сильного, но и электромагнитного взаимодействия. В слабом взаимодействии участвуют все элементарные частицы (кроме фотона). Ожидаемый радиус действия слабого взаимодействия порядка $2 - 10^{-16}$ см. Это взаимодействие обуславливает большинство распадов элементарных частиц, взаимодействия нейтрино с веществом и др.;

◇ *гравитационное взаимодействие* - присущее всем видам материи взаимодействие, самое слабое из фундаментальных взаимодействий элементарных частиц; имеет характер притяжения.

В настоящее время разработана объединенная теория электромагнитного и слабого взаимодействий (электрослабое взаимодействие). Существуют модели, включающие и сильное взаимодействие (великое объединение). Делаются попытки описать все четыре взаимодействия на единой основе.

Иерархичность физических явлений

Разные физические концепции в единое целое объединяет, вероятно, общее поле, на котором есть области наиболее частого применения тех или иных основных физических теорий - составляющих общей физической картины мира. Этот тезис иллюстрирует диаграмма на рис. 6.1, построенная в координатах расстояние - скорость, где указаны области применимости пяти самых широких современных теорий, причем область скоростей и расстояний, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, занимает лишь небольшую площадь в нижней части диаграммы [18]. Следует отметить, что эти области частично перекрываются и разделение носит условный характер. Например, на диаграмме показано, что общая теория относительности применима к астрономическим расстояниям, однако решающая ее проверка основана на анализе движения планет, а одно из предсказаний теории можно проверить даже в лаборатории. Из диаграммы следует, что применять общую теорию относительности необходимо для астрономических расстояний. Верхняя часть диаграммы ограничена скоростью света, поскольку, согласно современной физической парадигме, скорости материальных частиц, превосходящие это предельное значение, не имеют физического смысла. Кроме того, на современном уровне знаний нельзя ответить на вопрос, какие физические теории применимы к расстояниям, меньшим размеров протона или большим размеров видимой Вселенной. Не ясно даже, имеет ли смысл говорить о физических концепциях для этих областей.



Рис. 6.1. Диаграмма применимости пяти основных физических теорий. Вопросительные знаки указывают на отсутствие физических теорий, описывающих эти области [18]

В настоящее время сложилось представление об иерархичности физических явлений. В рамках физической картины мира выделяют по меньшей мере три структурных уровня - микро-, макро- и мегамир.

Макромир имеет дело с макрообъектами, размеры которых соотносимы с земными масштабами. В пределах макромира пространство измеряется в миллиметрах, сантиметрах и километрах, а время - в секундах, минутах, часах и годах. В этой области наиболее подходящей моделью физической реальности является механика И. Ньютона.

Мегамир характеризуется большими космическими масштабами и скоростями. Здесь пространство измеряется в астрономических единицах, световых годах и парсеках. Характерные для мегамира времена - миллионы и миллиарды лет. Для этой области разработаны такие концепции, как специальная и общая теории относительности.

Микромир, или мир микрообъектов, имеет масштабы $10^{-8} - 10^{-16}$ см, а время охватывает интервал от 10^{-24} до времени образования Вселенной. Для микромира наиболее подходят

нерелятивистская и релятивистская квантовые механики.

§ 6.2. Концепции макромира и классическая механика

Сущность классической механики и ее исторический обзор

Анализ физических явлений макромира базируется на концепции классической механики. В широком смысле *механика изучает механическое движение материи, тел и происходящие при этом взаимодействия между ними*. Под механическим движением понимают изменение с течением времени взаимного положения тел или их частиц в пространстве; в природе - это движение небесных тел, колебания земной коры, воздушные и морские течения и т.п. Рассматриваемые в механике взаимодействия представляют собой те действия тел друг на друга, в результате которых происходят изменения скоростей точек этих тел или их деформации, например притяжение тел по закону всемирного тяготения, взаимные давления соприкасающихся тел, воздействия частиц жидкости или газа друг на друга и на движущиеся в них тела.

Возникновение механики и ее развитие связаны с нуждами практики [25]. Раньше других разделов механики стала развиваться статика. Первые дошедшие до нас трактаты по механике появились в *Древней Греции* - это натурфилософские сочинения Аристотеля (IV в. до н.э.), который ввел в научный оборот термин «механика». Научные основы статики (теория рычага, сложение параллельных сил, учение о центре тяжести, начала гидростатики и др.) разработал Архимед (III в. до н.э.).

В XVII в. были созданы научные основы динамики, а с ней и всей механики. Большое влияние на развитие механики оказали гелиоцентрическое учение Н. Коперника (XVI в.) и открытие И. Кеплером законов движения планет (начало XVII в.). Основоположником динамики считают Г. Галилея, который получил решение задачи о движении тела под действием силы (закон равноускоренного падения). Его исследования привели к открытию закона инерции и принципа относительности классической механики; он стал основателем теории колебаний и науки о сопротивлении материалов. Исследования движения точки по окружности, колебаний физического маятника и законов упругого удара тел, важные для дальнейшего развития механики, принадлежат Х. Гюйгенсу. Создание основ классической механики завершается трудами И. Ньютона, сформулировавшего в 1687 г. главные ее законы и открывшего закон всемирного тяготения. В XVII в. были установлены и два исходных положения механики сплошной среды - закон вязкого трения в жидкостях и газах (Ньютон) и закон, выражающий зависимость между напряжениями и деформациями в упругом теле (Р. Гук).

В XVIII в. интенсивно развиваются аналитические методы решения задач механики, основывающиеся на использовании дифференциального и интегрального исчисления. Для материальной точки эти методы разработал Л. Эйлер, также заложивший основы динамики твердого тела. Ж. Лагранж получил уравнения движения системы в обобщенных координатах и создал основы современной теории колебаний. Эйлером, Д. Бернулли, Лагранжем и Д'Аламбером были разработаны основы гидродинамики идеальной жидкости.

В XIX в. продолжается интенсивное развитие всех разделов механики. В динамике твердого тела результаты, развитые С.В. Ковалевской и другими исследователями, послужили основой теории гироскопа, имеющей большое практическое значение. А.М. Ляпуновым была разработана теория устойчивости равновесия и движения. И.А. Вышнеградский заложил основы современной теории автоматического регулирования. Доказанная Г. Кориолисом теорема о составляющих ускорения послужила основой динамики относительного движения. Кинематика, развивавшаяся одновременно с динамикой, во второй половине XIX в. выделилась в самостоятельный раздел механики. Развитие получила и механика сплошной среды: были установлены общие уравнения теории упругости; дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости; развито

учение о вихрях и отрывном обтекании тел; положено начало изучению турбулентных течений; зародились гидродинамическая теория трения при смазке, теория пограничного слоя, первая математическая теория пластического течения металла и др.

В XX в. интенсивно развиваются новые области механики - теория нелинейных колебаний (А. Ляпунов и А. Пуанкаре), механика тел переменной массы и динамика ракет, где первые исследования проводили И.В. Мещерский (конец XIX в.) и К.Э. Циолковский. В механике сплошной среды появились еще два раздела - аэродинамика (Н.Е. Жуковский) и газовая динамика (С.А. Чаплыгин).

На современном этапе к актуальным в механике относят задачи теории колебаний, динамики твердого тела, теории устойчивости движения, механики тел переменной массы и динамики космических полетов. Все большее значение приобретают задачи, требующие применения вероятностных методов расчета, в которых, например, относительно действующих сил известна лишь вероятность того, какие значения они могут иметь. В механике непрерывной среды актуальны: изучение поведения макрочастиц при изменении их формы, что связано с разработкой более строгой теории турбулентного течения жидкости; решение задач теории пластичности и ползучести; создание обоснованной теории прочности и разрушения твердых тел. Механика также занимается изучением движения плазмы в магнитном поле, т.е. решением одной из самых актуальных проблем современной физики - осуществлением управляемого термоядерного синтеза. Ряд важнейших задач гидродинамики связан с проблемами больших скоростей в авиации, баллистике, турбино- и двигателестроении. Много новых задач возникает на стыке механики и других областей наук; в частности, в рамках гидротермохимии проводятся исследования механических процессов в жидкостях и газах, вступающих в химические реакции. Кроме того, механика изучает силы, вызывающие деление клеток, механизм образования мускульной силы и др.

Основные положения классической механики

В настоящее время предметом изучения классической механики являются движения любых материальных тел (кроме элементарных частиц), совершаемые со скоростями, много меньшими скорости света. При изучении движения материальных тел в ньютоновской механике вводят ряд абстрактных понятий, отражающих те или иные свойства реальных тел. Приведем основные три:

◇ *материальная точка* — объект пренебрежимо малых размеров, имеющий массу. Это понятие применимо, когда тело движется поступательно или в изучаемом движении можно пренебречь вращением тела вокруг его центра масс;

◇ *абсолютно твердое тело* — тело, у которого расстояние между двумя любыми точками всегда остается неизменным; это понятие применимо, когда можно пренебречь деформацией тела;

◇ *сплошная изменяемая среда*; это понятие применимо, когда при изучении движения изменяемой среды (деформируемого твердого тела, жидкости, газа) можно пренебречь молекулярной структурой среды.

При изучении сплошных сред дополнительно прибегают к абстракциям, отражающим при данных условиях наиболее существенные свойства соответствующих реальных тел: идеально упругое тело, пластическое тело, идеальная жидкость, вязкая жидкость, идеальный газ и др. В соответствии с этим выделяют механику материальной точки, механику системы материальных точек, механику абсолютно твердого тела и механику сплошной среды.

Механика сплошной среды подразделяется на теорию упругости, теорию пластичности, гидродинамику, аэродинамику, газовую динамику и др. В каждом из указанных разделов в соответствии с характером решаемых задач выделяют: статику - учение о равновесии тел под действием сил, кинематику — учение о геометрических свойствах движения тел, динамику - учение о движении тел под действием сил.

Большое значение для решения задач механики имеют понятия о динамических мерах движения, которыми являются количество движения, момент количества движения, кинетическая энергия, и о мерах действия силы, каковыми служат импульс силы и работа. Соотношение между мерами движения и мерами действия силы дают общие теоремы динамики. Эти теоремы и вытекающие из них законы сохранения количества движения, момента количества движения и механической энергии выражают свойства движения любой системы материальных точек и сплошной среды.

В основе классической механики лежат три закона механики Ньютона:

1) всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние;

2) изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит в направлении той прямой, по которой эта сила действует: $F = at$, где F - действующая сила, a — ускорение, m - масса тела;

3) действию всегда есть равное и противоположное противодействие, т.е. взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны. Большое значение для понимания явлений макромира имеет теория тяготения Ньютона. В основе ее представлений лежит закон, утверждающий, что две любые материальные частицы с массами m_a и m_b притягиваются по направлению друг к другу с силой F , прямо пропорциональной произведению масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между ними:

$$F = G \frac{(m_a m_b)}{r^2},$$

где G - гравитационная постоянная.

Из закона всемирного тяготения Ньютона следует, что тяготение - это потенциальное поле с некоторой напряженностью. Важным в теории тяготения Ньютона является наличие принципа эквивалентности, согласно которому тяготение одинаково действует на разные тела, сообщая им одинаковое ускорение независимо от массы, химического состава и других свойств. Теория Ньютона предполагает мгновенное распространение тяготения (в соответствии с принципом дальнего действия), что не согласуется со специальной теорией относительности (никакое взаимодействие не может распространиться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме). Это подтверждает справедливость теории Ньютона только для скоростей, значительно меньших скорости света; кроме того, она неприменима при расчетах траектории света в поле тяготения и других явлений, связанных с эффектами из мега- и микромира.

В классической механике пространство принимается трехмерным, время - однонаправленным, одномерным и не зависящим от пространства. Для описания пространства используют введенную Р. Декартом координатную систему (названную впоследствии его именем).



Рис. 6.2. Преобразования Галилея

При этом принимается, что все в мире состоит из атомов. В рамках этих представлений движение описывается как перемещение в пространстве по непрерывным траекториям в соответствии с законами механики Ньютона. В классической механике принято допущение, известное как *принцип дальнего действия*, по которому все физические процессы можно свести к перемещению материальных точек под действием силы тяжести, распространяющейся мгновенно.

Одно из центральных мест в классической механике занимает принцип относительности Г. Галилея, суть которого составляют два положения: 1) движение относительно (оно воспринимается по-разному наблюдателем в помещении под палубой корабля и наблюдателем, который

смотрит на корабль с берега); 2) физические законы, управляющие движением тел в этом помещении, не зависят от того, как движется корабль (если только это движение равномерно).

В классической механике пространство мыслится как некий «фон», на котором разворачивается движение материальных точек. Их положение можно определять, например, с помощью декартовых координат x, y, z , зависящих от времени t (рис. 6.2). При переходе из одной инерциальной системы отсчета, K , в другую, K' , движущуюся по отношению к первой вдоль оси x со скоростью v , координаты преобразуются: $x' = x - vt$, $y' = y$, $z' = z$; особенно важно, что время остается неизменным, т.е. $t' = t$; эти формулы получили название преобразований Галилея. По Ньютону, пространство выступает как некая координатная сетка, на которую не влияют материя и ее движение. Время в такой «геометрической» картине мира как бы отсчитывается некими абсолютными часами, ход которых ничто не может ни ускорить, ни замедлить.

§ 6.3. Концепции мегамира и теория относительности

Сущность теории относительности

Для описания физических явлений в мегамире широко используют специальную (частную) и общую теории относительности. Эти теории позволяют говорить о физических процессах как о свойствах пространства-времени. Согласно общей теории относительности, которая получила завершённую форму в 1915 г. в работах А. Эйнштейна, свойства пространства-времени определяются действующими в ней полями тяготения. Для общей теории относительности, именуемой также общей теорией тяготения, важен принцип *эквивалентности*, в соответствии с которым локально неразличимы силы тяготения и силы инерции, возникающие при ускорении системы отсчета. Этот принцип проявляется в том, что в заданном поле тяготения тела любой массы и физической природы движутся одинаково при одинаковых начальных условиях. Теория тяготения (общая теория относительности) описывает тяготение как воздействие физической материи на геометрические свойства пространства-времени, а эти свойства влияют на движение материи и на другие свойства вещества. По общей теории относительности, истинное гравитационное поле есть проявление искривления четырехмерного пространства-времени. Основной идеей теории является утверждение о том, что все тела движутся по геодезическим линиям в пространстве-времени, которое искривлено, и, следовательно, геодезические линии не прямые. Из этого вытекает, что тяготение зависит не только от распределения масс в пространстве, но и от их движения, давления и натяжения, имеющих в телах, от электромагнитного поля и всех других полей.

В специальной теории относительности, основы которой были разработаны Эйнштейном в 1905 г., изучаются свойства пространства-времени, справедливые с той точностью, с какой можно пренебрегать действием тяготения. Таким образом, специальная теория относительности представляет собой частный случай общей теории относительности. Теория относительности опирается на геометрию четырехмерного пространства-времени Г. Минковского, который ввел в 1907-1908 гг. понятие о том, что событие задается четырьмя координатами - тремя пространственными и одной временной. Геометрия пространства-времени Минковского позволяет наглядно интерпретировать кинематические эффекты специальной теории относительности. Явления, описываемые теорией относительности, называют релятивистскими (от лат. *relativus* - относительный), так как они проявляют себя при скоростях движения тел, близких к скорости света в вакууме c .

Преобразования Х.А. Лоренца

Как уже говорилось, в первой четверти XIX в. была создана теория электромагнитного

поля, поэтому принцип относительности Г. Галилея потребовал пересмотра; можно сказать, он родился заново, но уже как универсальный, справедливый не только в механике, но и в электродинамике и других областях физики. Подобно тому как математической формулировкой законов механики являются уравнения Ньютона, уравнения Максвелла служат количественным представлением законов электродинамики. Вид этих уравнений также должен оставаться неизменным при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую. (Под *инерциальными* понимают такие системы, в которых справедлив закон инерции: материальная точка, на которую не действуют никакие силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.) Чтобы удовлетворить этому условию, необходимо заменить преобразования Галилея иными. В 1904 г. нидерландский физик Х.А. Лоренц предложил такие преобразования координат и времени какого-либо события при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, носящие его имя и являющиеся основой специальной (частной) теории относительности:

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

где v - скорость объекта. При $v \ll c$ преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея, но если скорость v сопоставима со скоростью света c , то:

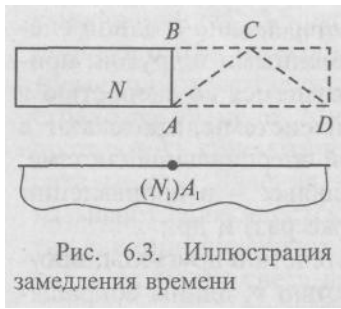
◇ события, которые происходят одновременно в одной системе отсчета, перестают быть одновременными в другой; причем физические процессы в теле, движущемся со скоростью v относительно некоторой инерциальной системы, протекают в $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз медленнее, чем в данной инерциальной системе; также происходит сокращение продольных – в направлении движения – размеров тел (во столько же раз) и др.;

◇ при переходе из одной системы отсчета в другую, движущуюся относительно первой со скоростью v , длины сокращаются (в направлении движения) в $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз и в такое же число раз «растягиваются» промежутки времени. Относительность одновременности – основная, принципиально новая черта современной частной теории относительности.

Позднее А. Эйнштейн показал, что в преобразованиях Лоренца отражаются не реальные изменения размеров тел при движении, а изменения результатов измерения в зависимости от движения системы отсчета. Относительными оказывались и «длина», и «промежуток времени» между событиями, и даже «одновременность» событий, иначе говоря, не только всякое движение, но и пространство, и время.

Принцип относительности А. Эйнштейна

В 1905 г. Эйнштейн, исходя из невозможности обнаружить абсолютное движение, сделал вывод о равноправии всех инерциальных систем отсчета. Он сформулировал два важнейших постулата, которые составили основу обобщенного принципа относительности: 1) все законы физики одинаково применимы в любой инерциальной системе отсчета и не должны меняться при преобразованиях Лоренца; 2) свет всегда распространяется в свободном пространстве с одной и той же скоростью независимо от движения источника. Принцип относительности Эйнштейна является расширением принципа относительности Г. Галилея на любые физические явления (механические, оптические, тепловые и др.), которые, согласно этому принципу, протекают одинаково (при одинаковых условиях) во всех инерциальных системах отсчета. Любая система отсчета, движущаяся относительно инерциальной системы отсчета поступательно, равномерно и прямолинейно, также является инерциальной системой отсчета.



При этом все инерциальные системы отсчета равноправны, т.е. во всех таких системах законы физики одинаковы. Заметим, что французский ученый А. Пуанкаре в 1905 г. (опубликовано в 1906 г.) независимо от Эйнштейна также развил математические следствия «постулата относительности». Эйнштейн так иллюстрировал замедление течения времени в движущейся системе по отношению к неподвижной [30, 31]. Пусть мимо железнодорожной платформы движется поезд со скоростью, близкой к скорости света (рис. 6.3). В точке A_1 на платформе находится наблюдатель N_1 . На полу вагона в точке A размещен фонарик. Когда происходит совмещение точки A в вагоне с точкой A_1 на платформе, фонарик включается и появляется луч света. Так как скорость его конечная, хотя и большая, то луч достигнет потолка вагона, где расположено зеркало, и отразится за определенное время, за которое поезд уйдет вперед. Для наблюдателя в вагоне луч света пройдет путь $2AB$, а для наблюдателя на платформе - $2AC$. Ясно, что чем больше скорость поезда, тем длиннее линия AC . Очевидно, что $2AC > 2AB$. Это как раз и говорит о замедлении течения времени внутри движущейся системы по отношению к неподвижной.

Необходимо подчеркнуть, что отрезки длин и промежутки времени изменяются в отношении определенных пространственных координат. Если, например, длина космического корабля в полете уменьшается в 2 раза с точки зрения наблюдателя на Земле, то при возвращении на Землю корабль сбавляет скорость и его длина становится такой, как при отлете.

Время в теории относительности необратимо. Отсюда следует широко известный парадокс близнецов: после путешествия одного из близнецов на ракете, летевшей со скоростью, близкой к скорости света, он увидит, что его брат стал старше его. Приведем еще один парадокс. Представим, что с Земли стартовал космический корабль со скоростью 0,99 или 0,98 скорости света и вернулся обратно через 50 лет, прошедших на Земле. Согласно теории относительности, по часам корабля этот полет продолжался бы один год. Если космонавт, отправившись в полет в возрасте 25 лет, оставил на Земле только что родившегося сына, то при встрече 50-летний сын повстречается с 26-летним отцом. Следует заметить, что физиологические процессы здесь абсолютно ни при чем. Нельзя сказать, что за один год сын космонавта состарился на 50 лет. Дело в том, что в соответствии с теорией относительности не существует абсолютного времени и пространства. Сын постарел на 50 лет за годы, прожитые на Земле, а в системе отсчета корабля время по отношению к Земле другое.

В пользу релятивистского замедления говорит следующий экспериментальный факт. В космических лучах в верхних слоях атмосферы образуются частицы, называемые пи-мезонами или пионами. Время жизни пионов 10^{-8} с. За это время, двигаясь даже со скоростью, почти равной скорости света, они могут пройти не больше 300 см. Но приборы их регистрируют, т.е. они проходят путь, равный 30 км, или в 10 000 раз больше, чем для них возможно. Теория относительности объясняет этот факт так: 10^{-8} с является естественным временем жизни пиона, измеренным по часам, движущимся вместе с пионом, т.е. покоящимся по отношению к нему. Но в системе отсчета Земли время жизни пиона намного больше, и за это время он в состоянии пройти земную атмосферу.

Требование неизменности вида основных уравнений физики во всех инерциальных системах отсчета применительно к уравнениям классической механики приводит к необходимости их модификации, сводящейся к замене массы тела m_0 (так называемой массы покоя) на $m = m_0 (\sqrt{1 - v^2/c^2})^{-1}$, причем m неограниченно возрастает по мере приближения скорости объекта v к скорости света c . Поскольку масса является мерой инерции, последнее утверждение означает, что, даже непрерывно подталкивая тело (частицу), невозможно сообщить ему (ей) скорость, большую или равную скорости света c . При таких скоростях, которые называют релятивистскими, зависимость энергии E тела

от его скорости v описывается не формулой классической механики $E_{\text{кин}} = mv^2/2$, а релятивистской формулой $E = mc^2(\sqrt{1 - v^2/c^2})^{-1}$, где m — масса покоя.

Из формулы следует, что энергия тела стремится к бесконечности при скоростях, стремящихся к скоростям света, поэтому, если масса покоя не равна нулю, скорость тела всегда меньше c , хотя она может стать сколь угодно близкой к ней. Это наблюдается, например, в опытах на ускорителях заряженных частиц, где они движутся со скоростью, практически равной скорости света. Со скоростью света движутся частицы с нулевой массой покоя (фотоны и, возможно, нейтрино). Скорость света является предельной скоростью передачи любых взаимодействий и сигналов из одной точки в другую.

Из уравнений релятивистской механики (как и механики Ньютона) вытекает закон сохранения энергии, для которого получается новое выражение: $E=mc^2$ - соотношение Эйнштейна, связывающее массу тела и его энергию. Иногда это соотношение ошибочно истолковывают как указание на возможность взаимных превращений массы и энергии. В действительности оно означает лишь то, что масса всегда пропорциональна энергии. В частности, наличие массы у покоящейся частицы говорит о наличии у нее энергии (энергии покоя), что не играет роли в классической механике, но приобретает принципиальное значение при рассмотрении процессов, в которых количество и сорт частиц могут изменяться и поэтому энергия покоя может переходить в другие формы. Так, в атомных ядрах благодаря энергии притяжения частиц общая масса ядра оказывается меньше суммы масс отдельных частиц (дефект массы).

В заключение заметим, что ряд выводов общей теории относительности качественно отличается от выводов ньютоновской теории тяготения. Важнейшие из них связаны с возникновением черных дыр, сингулярностей пространства-времени (мест, где формально, по теории, обрывается существование частиц и полей в обычной известной нам форме) и с наличием гравитационных волн (гравитационного излучения). Ограничения общей теории тяготения Эйнштейна обусловлены тем, что эта теория не квантовая, а гравитационные волны можно рассматривать как поток специфических квантов - гравитонов.

Других ограничений применимости теории относительности не обнаружено, хотя неоднократно высказывались предположения, что на очень малых расстояниях понятие точечного события, следовательно, и теория относительности могут оказаться неприменимыми. Современные квантовые теории фундаментальных взаимодействий (электромагнитная, слабого и сильного взаимодействий) основаны именно на геометрии пространства-времени частной теории относительности. Из этих теорий с наиболее высокой точностью проверена квантовая электродинамика лептонов. Неоднократно с высокой точностью повторялись опыты, использовавшиеся для обоснования теории относительности в первые десятилетия ее существования. Сейчас такого рода опыты имеют преимущественно исторический интерес, поскольку основной массив подтверждений общей теории относительности составляют данные, относящиеся к взаимодействиям релятивистских элементарных частиц, где справедливость кинематики частной теории относительности проверена на обширном материале.

§ 6.4. Концепции микромира и квантовая механика

Сущность квантовой механики и границы ее применимости

Для описания явлений микромира обычно привлекают квантовую механику (иногда ее еще называют волновой механикой). *Квантовой механикой называют теорию, устанавливающую способ описания и законы движения микрочастиц (элементарных частиц, атомов, молекул, атомных ядер) и их систем (например, кристаллов), а также связь величин, характеризующих частицы и системы, с физическими величинами, непосредственно измеряемыми на опыте.* Законы квантовой механики составляют фундамент изучения строения вещества. Они позволили выяснить строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов,

понять строение атомных ядер, изучать свойства элементарных частиц.

Поскольку свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием частиц, из которых они состоят, законы квантовой механики лежат в основе понимания большинства макроскопических явлений. Например, квантовая механика позволила объяснить температурную зависимость теплоемкостей газов и твердых тел и вычислить их значения, определить строение и понять многие свойства твердых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников), последовательно объяснить такие явления, как ферромагнетизм, сверхтекучесть, сверхпроводимость, понять природу астрофизических объектов - белых карликов, нейтронных звезд, выяснить механизм протекания термоядерных реакций на Солнце и звездах. В некоторых эффектах (например, Джозефсона) законы квантовой механики проявляются непосредственно в поведении макроскопических объектов.

Ряд крупнейших технических достижений XX в. основан по сути на специфических законах квантовой механики. Например, квантово-механические законы лежат в основе работы ядерных реакторов, обуславливают возможность осуществления термоядерных реакций в земных условиях, наблюдаются в ряде явлений в металлах и полупроводниках и т.д. Теория квантово-механического излучения составляет фундамент квантовой электроники. Законы квантовой механики используются при целенаправленном поиске и создании новых материалов (магнитных, полупроводниковых, сверхпроводящих и др.).

Для классической механики и теории относительности характерно описание частиц путем задания их положения в пространстве координат и скоростей и зависимости этих величин от времени. Такому описанию соответствует движение частиц по вполне определенным траекториям. Однако это описание не всегда справедливо, особенно для частиц с очень малой массой (микрочастиц). В таких случаях используют законы квантовой механики.

Квантовая механика делится на нерелятивистскую, справедливую в случае малых скоростей, и релятивистскую, удовлетворяющую требованиям специальной теории относительности. Мы будем рассматривать в основном сущность нерелятивистской квантовой механики вполне законченной и логически непротиворечивой теории, которая позволяет количественно решать в принципе любую физическую задачу в области своей компетентности. Разработка релятивистской квантовой механики еще не доведена до такого уровня. Например, если в нерелятивистской области можно считать, что движение определяется силами, действующими мгновенно на расстоянии, то в релятивистской области это допущение несправедливо. Поскольку, согласно теории относительности, взаимодействие передается с конечной скоростью, должен существовать физический агент, переносящий взаимодействие. Таким агентом считается физическое поле. Поэтому можно сказать, что трудности создания релятивистской теории по существу связаны с построением теории поля.

Соотношение между классической и квантовой механикой определяется существованием универсальной мировой постоянной - постоянной Планка (или кванта действия). Если в условиях конкретной задачи физическая величина, имеющая размерность действия, значительно больше постоянной Планка, то применима классическая механика или теория относительности. Формально это условие и является критерием выбора физической теории для описания картины мира.

История становления квантовой теории

Разработка квантовой механики относится к началу XX в., когда были обнаружены две, казалось бы, не связанные между собой группы явлений (установление на опыте двойственной природы света - дуализма света и невозможность объяснить на основе имевшихся представлений существование устойчивых атомов и их оптические спектры), свидетельствующих о неприменимости механики Ньютона и классической электродинамики к процессам взаимодействия света с веществом и к процессам,

происходящим в атоме. Установление связи между этими группами явлений и попытки объяснить их на основе новой теории и привели к открытию законов квантовой механики.

Впервые представления о кванте ввел в 1900 г. М. Планк в работе, посвященной теории теплового излучения тел. Существовавшая в то время теория теплового излучения, построенная на основе классической электродинамики и статистической физики, приводила к бессмысленному результату, а именно тепловое равновесие между излучением и веществом не может быть достигнуто, так как вся энергия должна перейти в излучение. Планк разрешил это противоречие, предположив, что свет испускается не непрерывно, как следует из классической теории излучения, а дискретными порциями энергии - квантами, причем величина кванта энергии зависит от частоты света.

Эта работа Планка стимулировала развитие квантовой механики в двух взаимосвязанных направлениях, завершившееся в 1927 г. окончательной формулировкой квантовой механики в двух ее формах. Первое направление связано с именем А. Эйнштейна, который предложил теорию фотоэффекта (1905). Развивая идею Планка, А. Эйнштейн предположил, что свет квантами не только испускается и поглощается, но и распространяется, т.е. дискретность присуща самому свету: свет состоит из отдельных порций — световых квантов (фотонов).

В 1922 г. А. Комптон экспериментально показал, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц - фотона и электрона. Таким образом, было доказано, что наряду с известными волновыми свойствами (проявляющимися, например, в дифракции света — огибании светом различных препятствий) свет обладает и корпускулярными свойствами: он состоит как бы из частиц — фотонов. Возникло формальное логическое противоречие: для объяснения одних явлений необходимо считать, что свет имеет волновую природу, а объяснение других предполагало его корпускулярную природу.

В 1924 г. Л. де Бройль, пытаясь найти объяснение постулированным в 1913 г. Н. Бором условиям квантования атомных орбит, выдвинул гипотезу о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма. Согласно де Бройлю, каждой частице независимо от ее природы следует поставить в соответствие волну, длина которой связана с импульсом частицы, при этом не только фотоны, но и все «обыкновенные частицы» (электроны, протоны и др.) обладают волновыми свойствами, которые, в частности, должны проявляться в дифракции частиц. В 1927 г. К. Дэвиссон и Л. Джермер впервые наблюдали дифракцию электронов.

В 1926 г. Э. Шрёдингер предложил уравнение, описывающее поведение таких «волн» во внешних силовых полях, - возникла волновая механика. Волновое уравнение Шрёдингера является основным уравнением нерелятивистской квантовой механики. В 1928 г. П. Дирак сформулировал релятивистское уравнение, которое описывает движение электрона во внешнем силовом поле и стало одним из основных уравнений релятивистской квантовой механики.

Второе направление развития (также являющееся обобщением гипотезы Планка) начинается с работы Эйнштейна (1907), посвященной теории теплоемкости твердых тел. Дело в том, что электромагнитное излучение, представляющее собой набор электромагнитных волн различных частот, динамически эквивалентно некоторому набору осцилляторов (физических систем, совершающих колебания), а испускание или поглощение волн эквивалентно возбуждению или затуханию соответствующих осцилляторов. Тот факт, что испускание и поглощение электромагнитного излучения веществом происходят квантами с энергией Tiv (h - постоянная Планка, v — частота света), можно объяснить так: осциллятор поля не может обладать произвольной энергией, он может иметь только дискретные уровни энергии, разность между которыми равна tiv . Эйнштейн, обобщая идею квантования энергии осциллятора электромагнитного поля на осциллятор произвольной природы, утверждал, что если тепловое движение твердых тел сводится к колебаниям атомов, то и твердое тело динамически эквивалентно набору осцилляторов с квантованной энергией, т.е. разность соседних уровней энергии равна $h\nu$,

где ν - частота колебаний атомов. Теория Эйнштейна, уточненная П. Дебаем, М. Борном и Т. Карманом, сыграла выдающуюся роль в развитии теории твердых тел.

В 1913 г. Н. Бор применил идею квантования энергии к теории строения атома, планетарная модель которого следовала из результатов опытов Э. Резерфорда (1911). Согласно этой модели, в центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома, а вокруг ядра вращаются по орбитам отрицательно заряженные электроны. Рассмотрение такого движения на основе представлений классической электродинамики приводило к парадоксальному результату — невозможности существования стабильных атомов. Дело в том, что, согласно этим представлениям, электрон не может устойчиво двигаться по орбите, поскольку вращающийся электрический заряд должен излучать электромагнитные волны и, следовательно, терять энергию, а радиус его орбиты должен непрерывно уменьшаться, и через время 10^{-8} с электрон должен упасть на ядро. Однако атомы не только существуют, но и весьма устойчивы.

Объясняя устойчивость атомов, Бор предположил, что из всех орбит, допускаемых классической механикой для движения электрона в электрическом поле атомного ядра, реально осуществляются лишь те, которые удовлетворяют определенным условиям квантования, а именно величина действия для классической орбиты должна быть кратной постоянной Планка. Бор постулировал, что электрон, совершая допустимое условиями квантования орбит движение (т.е. находясь на определенном уровне энергии), не испускает световых волн. Излучение происходит лишь при переходе электрона с одной орбиты на другую, т.е. с одного уровня энергии на другой, с меньшей энергией; при этом рождается квант света. В результате этого возникает линейчатый спектр атома. Бор получил формулу для частот спектра, линий атома водорода (и водородоподобных атомов), охватывающую совокупность открытых ранее эмпирических формул. Существование уровней энергии в атомах было подтверждено опытами Франка - Герца (1913-1914).

Таким образом, Бор, используя квант, постоянную Планка, отражающую дуализм света, показал, что эта величина определяет также движение электронов в атоме. Этот факт позднее был объяснен на основе универсальности корпускулярно-волнового дуализма, в соответствии с которым понятия частицы и волны, с одной стороны, дополняют друг друга, а с другой - противоречат друг другу. Он связан также со способами изучения явлений микромира. Существуют два типа приборов: в одних квантовые объекты ведут себя как волны, в других — как частицы, поэтому экспериментально можно наблюдать квантовые явления, на которые налагается взаимодействие приборов с микрообъектом, а не реальность как таковую.

Успех теории Бора, как и предыдущие успехи квантовой теории, был достигнут за счет нарушения логической цельности теории: одновременно использовались классическая механика и чуждые ей искусственные правила квантования, к тому же противоречащие классической электродинамике. Теория Бора оказалась не в состоянии объяснить движение электронов в сложных атомах (даже в атоме гелия), возникновение связи между атомами, приводящей к образованию молекулы, не могла ответить на вопрос, как движется электрон при переходе с одного уровня энергии на другой, и т.п.

Дальнейшая разработка вопросов теории атома привела к пониманию, что движение электронов в атоме нельзя описывать в терминах классической механики (как движение по определенной траектории или орбите), поскольку движение электрона между уровнями не подчиняется законам, определяющим поведение электронов в атоме. Была необходима новая теория, в которую входили бы только величины, относящиеся к начальному и конечному стационарным состояниям атома.

В 1925 г. В. Гейзенберг построил формальную схему, где вместо координат и скоростей электрона фигурировали абстрактные алгебраические величины - матрицы. Связь матриц с наблюдаемыми величинами (уровнями энергии и интенсивностями квантов, переходов) описывалась простыми непротиворечивыми правилами. Развитие М. Борном и П.

Иорданом работы Гейзенберга привело к возникновению матричной механики. Уравнение Шрёдингера позволило показать математическую эквивалентность волновой (основанной на уравнении Шрёдингера) и матричной механики. В 1926 г. Борн дал вероятностную интерпретацию волн де Бройля.

Большую роль в создании квантовой механики сыграли работы П. Дирака, который заложил основы квантовой электродинамики и квантовой теории гравитации, разработал квантовую статистику (статистика Ферми - Дирака), релятивистскую теорию движения электрона, предсказал позитрон и т.д. Окончательное формирование квантовой механики как последовательной теории с ясными физическими основами и стройным математическим аппаратом произошло в результате работы Гейзенберга (1927), который сформулировал соотношение неопределенностей - важнейшее соотношение, отражающее физический смысл уравнений квантовой механики.

Детальный анализ спектров атомов привел к представлению о том, что электрону кроме заряда и массы должна быть приписана еще одна внутренняя характеристика - спин — собственно момент количества движения микрочастицы, имеющий квантовую природу и не связанный с движением частицы как целого. Важную роль сыграл открытый В. Паули (1925) принцип запрета, согласно которому в квантовой системе две (или более) тождественные частицы с полуцелым спином не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии. Этот принцип имеет фундаментальное значение в теории атома, молекулы, ядра, твердого тела.

В течение короткого времени квантовую механику с успехом применили для создания теории атомных спектров, строения молекул, химической связи, периодической системы элементов, металлической проводимости и ферромагнетизма. Дальнейшее принципиальное развитие квантовой теории связано главным образом с релятивистской квантовой механикой.

Современные представления об элементарных частицах и атомах

В настоящее время достаточно много известно об атомарном строении вещества и элементарных частицах — мельчайших известных частицах физической материи [7, 16, 23, 24, 28]. Поскольку элементарные частицы способны к взаимным превращениям, это не позволяет рассматривать их, так же как и атом, в качестве простейших, неизменных «кирпичиков мироздания». Число элементарных частиц очень велико. Всего открыто более 350 элементарных частиц, из которых стабильны лишь фотон, электронное и мюонное нейтрино, электрон, протон и их античастицы (каждая элементарная частица, за исключением абсолютно нейтральных, имеет свою античастицу). Остальные элементарные частицы самопроизвольно распадаются за время от 10^3 с (свободный нейтрон) до 10^{-22} - 10^{-24} с (резонансы).

Элементарные частицы классифицируются по типам фундаментальных взаимодействий, в которых они участвуют, и на основе законов сохранения ряда физических величин следующим образом:

◇ группа лептонов - частицы со спином $1/2$, не участвующие в сильном взаимодействии и обладающие сохраняющейся внутренней характеристикой - лептонным зарядом;

◇ адроны — элементарные частицы, участвующие во всех фундаментальных взаимодействиях, включая сильное; характерным для адронов сильным взаимодействиям свойственно максимальное число сохраняющихся величин (законов сохранения). Адроны делятся на барионы и мезоны. По современным представлениям, адроны имеют сложную внутреннюю структуру: барионы состоят из трех кварков; мезоны - из кварка и антикварка;

◇ отдельную «группу» составляет фотон.

При столкновениях элементарных частиц происходят всевозможные превращения их друг в друга (включая рождение многих дополнительных частиц), не запрещаемые законами сохранения.

Атомом называют часть вещества микроскопических размеров и массы, мельчайшую частицу химического элемента, сохраняющую его свойства. Атомы состоят из элементарных частиц и имеют сложную внутреннюю структуру. В центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Вокруг ядра движутся электроны, образующие электронные оболочки, размеры которых (10^{-8} см) определяют размеры атома. Ядро атома состоит из протонов и нейтронов. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре (заряд всех электронов атома равен заряду ядра), число протонов равно порядковому номеру элемента в Периодической таблице элементов. Атомы могут присоединять или отдавать электроны, становясь отрицательно или положительно заряженными ионами. Химические свойства атомов определяются в основном числом электронов во внешней оболочке. Соединяясь химически, атомы образуют молекулы.

Внутренняя энергия атома может принимать лишь определенные (дискретные) значения, соответствующие устойчивым состояниям атома, и изменяется только скачкообразно путем квантового перехода. Поглощая порцию энергии, атом переходит в возбужденное состояние (на более высокий уровень энергии). Испуская фотон, атом может перейти из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией (на более низкий уровень энергии). Уровень, соответствующий минимальной энергии атома, называется основным, остальные - возбужденными. Квантовые переходы обуславливают атомные спектры поглощения и испускания, индивидуальные для атомов всех химических элементов.

Нуклоны (протоны и нейтроны) в ядре прочно удерживаются ядерными силами. Чтобы удалить нуклон из ядра, надо совершить большую работу, т.е. сообщить ядру значительную энергию. По закону сохранения энергии, энергия связи ядра (энергия, необходимая для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны) равна энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц. Энергия связи атомных ядер очень велика по сравнению с энергией связи электронов с атомным ядром. Определить энергию связи ядра можно, зная массу ядра и массы протонов и нейтронов, из которых оно состоит. Согласно эффекту дефекта массы, масса покоя ядра всегда меньше суммы масс покоя входящих в него нуклонов. Энергия связи ядер вычисляется с помощью известного соотношения Эйнштейна $E = mc^2$, где m - суммарная масса свободных нуклонов минус масса ядра - дефект массы.

Важную информацию о свойствах ядер дает знание удельной энергии связи ядра (энергии связи, приходящейся на один нуклон). С увеличением массового числа - числа нуклонов в ядре — удельная энергия связи, начиная с гелия, сначала слабо растет, достигает максимума у железа (массовое число 56), после чего плавно снижается. Наиболее устойчивы ядра, обладающие самой большой удельной энергией связи, — железо и близкие к нему химические элементы Периодической системы элементов.

Использование ядерной энергии основано на осуществлении цепных реакций деления тяжелых ядер и реакций термоядерного синтеза - слияния легких ядер. И те, и другие реакции сопровождаются выделением энергии. В тяжелых ядрах наряду с большими силами электрического отталкивания, стремящимися разорвать ядро на части, действуют значительные ядерные силы, которые удерживают ядро от распада. Под влиянием поглощенного нейтрона ядро возбуждается и начинает деформироваться, приобретая вытянутую форму. Когда силы отталкивания внутри ядра начинают преобладать над силами притяжения, ядро разрывается на две части. Под действием сил кулоновского отталкивания осколки ядра разлетаются со скоростью, равной $1/30$ скорости света, испускается излучение высокой частоты.

Не все ядра способны к делению. Наиболее легко делится изотоп урана ^{235}U , составляющий всего $1/140$ от более распространенного изотопа ^{238}U . При каждом акте деления ядра испускаются 2-3 нейтрона, которые в свою очередь могут вызывать деление других ядер - начинается ядерная цепная реакция. Она сопровождается выделением

огромного количества энергии. Так, при полном делении ядер, находящихся в 1 г урана, выделяется энергия, эквивалентная получаемой при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти. Управляемая реакция деления ядер реализуется в ядерных реакторах, неуправляемая - в атомной бомбе. Выделение энергии при слиянии ядер легких атомов дейтерия, трития или лития с образованием гелия происходит в ходе термоядерных реакций, протекающих лишь при очень высоких температурах. Реакции ядерного синтеза являются источником звездной энергии. Эти же реакции протекают при взрыве водородной бомбы. Осуществление управляемого термоядерного синтеза на Земле сулит человечеству новый, практически неисчерпаемый источник энергии. В этом отношении наиболее перспективна реакция слияния ядер атома дейтерия и трития.

§ 6.5. Концепции возникновения и развития Вселенной

Модели развития Вселенной

Для понимания физической картины мира большое значение имеют выводы *космологии* - учения о Вселенной как едином целом и ее эволюции. Наряду с построением теории общей эволюции Вселенной важно получить представления о развитии галактик, звезд и планет. Вопросы происхождения и эволюции небесных тел изучаются особым разделом науки - космогонией.

Для решения космологических и космогонических проблем используют два основных подхода:

1) наблюдательный: сравнивая характеристики небесных тел, находящихся в разных стадиях развития, можно установить, в какой последовательности эти стадии сменяли друг друга;

2) теоретический: исходя из общих законов физики, можно определить, какие именно условия должны были существовать в прошлом, чтобы небесное тело приобрело именно те характеристики, которыми оно обладает сейчас, какой путь развития оно прошло.

Первый подход применяют к таким объектам, как звезды, звездные скопления, газовые туманности, галактики, планетные системы (сейчас известна лишь одна такая система - Солнечная). При изучении эволюции Вселенной в целом возможен только теоретический подход.

Важнейший постулат космологии состоит в том, что законы природы, установленные на основе изучения весьма ограниченной части Вселенной (обычно опытов на планете Земля), могут быть экстраполированы на гораздо большие области, в конечном счете - на всю Вселенную. Космологические теории различаются в зависимости от того, какие физические принципы и законы закладываются в их основу. Построенные на их базе модели должны допускать проверку для наблюдаемой области Вселенной, а выводы теории должны подтверждаться наблюдениями (во всяком случае не противоречить им). Сейчас этому требованию наилучшим образом удовлетворяют разработанные на основе общей теории относительности однородные изотропные модели нестационарной «горячей» Вселенной [1, 3, 10, 19, 20, 27].

Возникновение современной космологии связано с созданием релятивистской теории тяготения (А. Эйнштейн, 1916) и зарождением внегалактической астрономии (1920-е гг.). На первом этапе развития релятивистской космологии главное внимание уделялось геометрии Вселенной, т.е. рассмотрению кривизны четырехмерного пространства-времени и возможной замкнутости Вселенной. Начало второго этапа отмечено работами отечественного ученого А.А. Фридмана (1922-1924), который показал, что Вселенная, заполненная тяготеющим веществом, не может быть стационарной — она должна расширяться или сжиматься. Однако эти принципиально новые результаты получили признание лишь после открытия красного смещения (эффекта «разбегания» галактик) Э. Хабблом (1929). В результате на первый план выступили проблемы механики Вселенной и ее возраста (длительности расширения). Третий этап связан с моделями «горячей»

Вселенной (Г. Гамов, 1940-е гг.), когда внимание в основном было сосредоточено на физике Вселенной - состоянии вещества и физических процессах, идущих на разных стадиях расширения Вселенной, включая наиболее ранние стадии. Наряду с законом тяготения в космологии приобретают большое значение законы термодинамики, данные ядерной физики и физики элементарных частиц. На этой основе возникает релятивистская астрофизика.

Теории однородной изотропной Вселенной подразумевают, во-первых, уравнение А. Эйнштейна общей теории относительности, откуда следуют кривизна пространства-времени и связь кривизны с плотностью массы (энергии); во-вторых, представления об однородности и изотропности Вселенной, т.е. считается, что в ней нет каких-либо выделенных точек и направлений, а все точки и направления равноправны; это утверждение часто называют космологическим постулатом.

Если дополнительно предположить, что во Вселенной отсутствуют силы, возрастающие с расстоянием и противодействующие тяготению вещества, а плотность массы создается главным образом веществом, то космологические уравнения приобретают простой вид и возможны только две модели:

◇ *открытая модель*, в которой кривизна трехмерного пространства отрицательна или (в пределе) равна нулю, а Вселенная бесконечна; в такой модели расстояния между скоплениями галактик неограниченно возрастают со временем;

◇ *замкнутая модель*, в которой кривизна пространства положительна, Вселенная конечна, но столь же безгранична, как и в открытой модели; в такой модели расширение со временем сменяется сжатием.

В ходе эволюции Вселенной кривизна трехмерного пространства уменьшается при расширении, увеличивается при сжатии, но знак кривизны не меняется, т.е. открытая модель остается открытой, а замкнутая - замкнутой. Начальные стадии эволюции по обеим моделям совершенно одинаковы и характеризуются сингулярностью с огромной (не меньше 10^{93} г/см³) плотностью массы и кривизной пространства и взрывным, замедляющимся со временем расширением. Указанные выше исходные положения релятивистской космологии достаточны для суждений об общем характере эволюции Вселенной, но они оставляют открытым вопрос о ее начальном состоянии. Характеристики начального состояния - третье независимое положение релятивистской космологии.

С 1960-1970-х гг. общепринята модель «горячей» Вселенной, в соответствии с которой предполагается высокая начальная температура. В условиях очень высокой температуры ($T > 10^{13}$ К) вблизи сингулярности не могли существовать не только молекулы или атомы, но и атомные ядра, а была лишь равновесная смесь элементарных частиц (включая фотоны и нейтрино). Физика элементарных частиц позволяет рассчитать состав такой смеси при разных температурах, соответствующих этапам эволюции, а уравнения космологии — найти закон расширения однородной и изотропной Вселенной и изменение ее физических параметров в процессе расширения. Поскольку расширение вначале происходило с большой скоростью, то высокие плотность и температуры могли быть только очень короткое время. Уже по окончании начального отрезка времени 0,01 с плотность упала от бесконечного (формально) значения до 10^{10} г/см³. Во Вселенной в момент $t \approx 0,01$ с сосуществовали фотоны, электроны, позитроны, нейтрино и антинейтрино, а также небольшая доля нуклонов (протонов и нейтронов). В результате последующих превращений к моменту времени 3 мин из нуклонов образовалась смесь легких ядер (2/3 водорода и 1/3 гелия по массе). Все остальные химические элементы синтезировались намного позднее из этого дозвездного вещества в результате ядерных реакций в недрах звезд. В момент образования нейтральных атомов гелия и водорода (при $t \approx 10^6$ лет) вещество стало прозрачным для оставшихся фотонов, и в настоящее время они наблюдаются в виде реликтового (остаточного) излучения, свойства которого можно предсказать на основе теории «горячей» Вселенной. Вначале расширение Вселенной

происходило очень быстро, но процессы превращений элементарных частиц протекали намного быстрее, в результате чего установилось термодинамическое равновесие. Это чрезвычайно важное обстоятельство, поскольку такое состояние полностью описывается макроскопическими параметрами (определяемыми скоростью расширения) и совершенно не зависит от предшествующей истории. Незнание того, что происходило при плотностях, намного превосходящих ядерную, не мешает делать более или менее достоверные суждения о последующих состояниях, описываемых законами современной физики микромира. Общие законы физики надежно проверены при ядерной плотности 10^{14} г/см³ (эту плотность имела Вселенная спустя 10^{-4} с от начала расширения). Следовательно, физические свойства эволюционирующей Вселенной вполне поддаются изучению со времени 10 сек от состояния сингулярности.

Выводы релятивистской космологии принципиальны для понимания физической картины мира. Следовательно, степень их достоверности представляет общенаучный и мировоззренческий интерес. Считают, что наибольшее значение имеют выводы о нестационарности (расширении) Вселенной, о высоких значениях плотности и температуры в начале расширения («горячая» Вселенная) и об искривленности пространства-времени, а также о знаке кривизны трехмерного пространства окружающего мира и степени однородности и изотропии Вселенной. Вывод о нестационарности Вселенной подтвержден обнаруженным в спектрах галактик красным смещением, а концепция «горячей» Вселенной - открытым в 1965 г. реликтовым излучением, которое оказалось в высокой мере (с точностью до долей процента) изотропным, а спектр его равновесным. Как мы уже говорили, его температура составляет около 3 К. Это доказывает, что Вселенная на протяжении более 99% времени своего существования изотропна.

В настоящее время не установлено, какая модель кривизны трехмерного пространства наиболее адекватно отражает действительность. Кривизну можно определить по известной средней плотности массы во Вселенной или по точной зависимости красного смещения от расстояния (отклонению от линейной зависимости). Астрономические наблюдения дают значения усредненной плотности вещества, входящего в видимые галактики, около $3 \cdot 10^{-31}$ г/см³. Гораздо труднее определить плотность скрытого (невидимого) вещества, а тем более плотность, создаваемую нейтрино (если масса нейтрино не равна нулю), поэтому неопределенность суммарной плотности вещества Вселенной весьма велика; она может быть на два порядка больше усредненной плотности звездного вещества. На основе имеющихся данных нельзя сделать выбор между открытой (расширяющейся безгранично) и замкнутой (расширение в далеком будущем сменится сжатием) моделями. Эта неопределенность не сказывается на общем характере расширения в прошлом и сейчас, но влияет на определение возраста Вселенной (длительность расширения). Если бы расширение происходило с постоянной скоростью, то время, истекшее от момента изначального взрыва, составляло бы около 13 млрд лет. Но предполагается, что расширение идет с замедлением, поэтому время, истекшее с момента начала расширения, меньше — 8,7 млрд лет. Для замкнутых моделей это время будет еще меньше. С другой стороны, если существуют космологические силы, соответствующие силам отталкивания, то оказывается возможной, например, длительная (10 млрд лет или более) задержка расширения в прошлом; тогда возраст Вселенной может составлять десятки миллиардов лет.

Развитие космологии поставило ряд новых проблем. Так, для изучения состояния вещества с плотностью намного порядков выше ядерной плотности нужна совершенно новая физическая теория; предполагается, что это должен быть некий синтез существующей теории тяготения и квантовой теории. Подходы к изучению сингулярности пока лишь намечаются. Кроме того, возник вопрос о единственности Вселенной. В рамках современной космологии считается, что Метагалактика единственна. Но проблемы пространства-времени разработаны еще недостаточно для того, чтобы составить

представление о возможностях, которые могут быть реализованы в природе. В теории космологии не решена и проблема зарядовой асимметрии во Вселенной. В нашем космическом окружении (во всяком случае в пределах Солнечной системы и Галактики, но, вероятно, и в пределах всей Вселенной) имеет место количественное преобладание вещества над антивеществом. Причины этого кроются, по-видимому, в самых ранних стадиях развития Вселенной.

Происхождение и эволюция звезд и галактик

В настоящее время установлено, что звезды и звездные скопления имеют разный возраст — от 10 лет (шаровые звездные скопления) до 10 лет для самых молодых (рассеянные звездные скопления и звездные ассоциации). В этой картине еще много неясного, многое подлежит уточнению, однако в главных чертах она представляется достаточно обоснованной [1,9, 10, 19, 29]. В общем виде эволюция звезд проходит несколько стадий:

◇ возникновение звезды в результате конденсации межзвездных пыли и газа, богатого водородом;

◇ стадия термоядерных реакций превращения водорода в гелий в центре звезды (наиболее длительная);

◇ при исчерпании в центре водорода ядро сжимается и нагревается, а оболочка сильно расширяется; даже при увеличении светимости температура поверхности падает - звезда становится красным гигантом;

◇ термоядерное загорание гелия и более тяжелых элементов в ядре звезды, сопряженное в ряде случаев со сбросом водородной оболочки и образованием так называемой планетарной туманности;

◇ остывание остатка звезды, переход в стадию белого карлика.

В зависимости от начальной массы, возможно, и от момента вращения звезды могут завершить свою эволюцию взрывом сверхновой (с остатком в виде нейтронной звезды либо без остатка). Согласно общей теории относительности, наиболее массивные звезды, сохранившие свою массу вплоть до исчерпания термоядерного горючего, должны коллапсировать в состояние черной дыры.

Важной характеристикой является вращение звезды вокруг своей оси. Звезды с высокой температурой вращаются очень быстро - экваториальная скорость вращения у них, как правило, превышает 100 км/с. Скорость вращения звезды падает с уменьшением ее температуры. Например, у Солнца скорость вращения точек экватора составляет всего около 2 км/с.

Считается, что первичная туманность, из которой образуется звезда, имеет начальный момент количества движения. Если бы этот момент количества движения сохранялся, то звезды не образовывались, так как туманность, сжимаясь, увеличивала бы скорость вращения и разорвалась задолго до этого. Очевидно, что момент количества движения каким-то образом удаляется из туманности. Полагают, что это происходит следующим образом. Конденсирующаяся туманность связана с окружающей менее плотной средой магнитным полем. Поскольку межзвездная материя «приклеена» к магнитным силовым линиям, то вращение конденсирующейся туманности передается окружающей среде и туманность теряет момент количества движения до тех пор, когда плотность протозвезды становится достаточно высокой. Окончательно сконденсировавшаяся звезда должна иметь экваториальную скорость несколько сот километров в секунду независимо от массы. Для горячих звезд наблюдения дают именно такую скорость вращения. У холодных звезд скорость вращения гораздо меньше. Так, в Солнечной системе 98% момента количества движения принадлежит планетам и только 2% - Солнцу. Медленное вращение холодных звезд может быть объяснено наличием у них планетных систем, аналогичных Солнечной. Если это так, то число планетных систем в Галактике достаточно велико.

Соотношение общего количества звездного и межзвездного вещества в галактиках со

временем убывает, поскольку из межзвездной диффузной (рассеянной) материи образуются звезды, которые в конце своего эволюционного пути возвращают в межзвездное пространство только часть вещества; некоторая его часть остается в белых карликах и в нейтронных звездах. Перерабатываясь в звездных недрах, вещество галактик постепенно изменяет химический состав, обогащаясь гелием и тяжелыми элементами. Считается, что галактики образовались из газовых облаков, которые состояли главным образом из водорода. Возможно, эти облака содержали только водород, а гелий и тяжелые элементы появились в результате термоядерных реакций внутри звезд. Однако самые тяжелые ядра (уран и торий) не могли образоваться в этом процессе. Предполагается, что они возникают при вспышках сверхновых звезд в результате быстрого их сжатия (коллапса) и последующего взрыва.

Столкновения облаков межзвездного газа приводят к постепенному уменьшению их скорости, кинетическая энергия переходит в тепловую и меняются форма и размеры газового облака. Согласно расчетам, в случае быстрого вращения такое облако должно принять форму сплющенного диска, как, например, форма нашей Галактики. Если же облако вращается медленно, формируется не спиральная галактика, а эллиптическая.

Происхождение Солнечной системы

Наибольшее развитие получила космогония Солнечной системы (планетная космогония) [1, 29]. Еще Р. Декарт (1644) высказал предположение, что Солнечная система образовалась из облака газа и пыли. Аналогичную гипотезу позднее развивали Ж.Л. Бюффон (1749) и И. Кант (1755). Они полагали, что в центре облака возникло Солнце, в периферийных его частях - планеты. Согласно предположению Ж.Л. Лапласа (1796), из-за вращения туманности возникает так называемая ротационная неустойчивость, вследствие чего туманность сплющивается, принимая форму чечевицы. С ее экватора выбрасывается вещество, из которого вокруг туманности образуются плоские кольца, похожие на кольца Сатурна; впоследствии газ, выброшенный из туманности, конденсируется в планеты.

В начале XX в. английский ученый Дж.Х. Джинс предложил космогоническую гипотезу, в соответствии с которой Солнце, как и другие звезды, сформировалось без планетной системы, она появилась только в результате катастрофы: другая звезда прошла настолько близко к Солнцу, что вырвала из его недр часть вещества. В результате его конденсации и образовались планеты. Однако впоследствии было установлено, что выдвинутые Джинсом предположения недостаточно обоснованы.

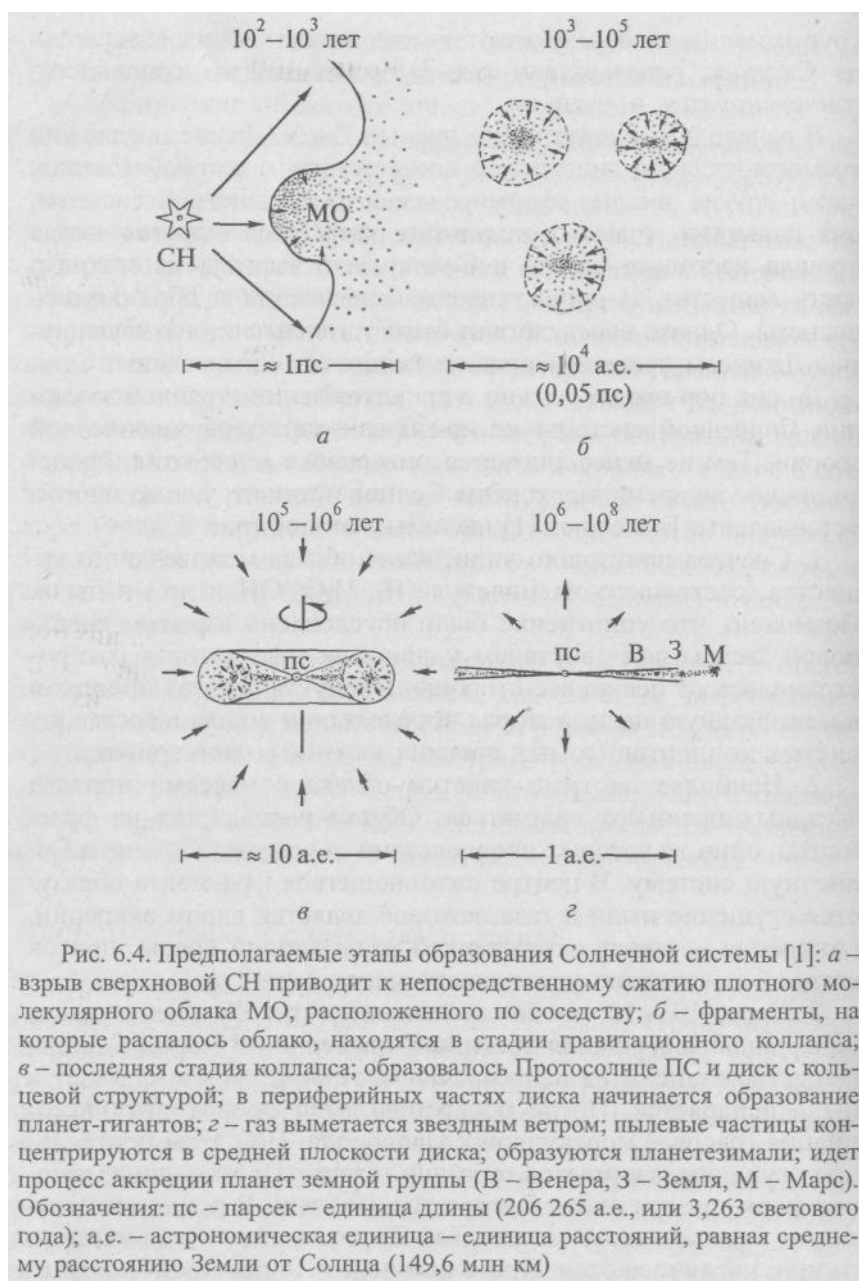
До сих пор представления о происхождении и ранней эволюции Солнечной системы не приобрели характера законченной теории. Тем не менее считается, что основные события, происходившие во время зарождения Солнца и планет, уже во многом установлены. Выделяют [1] несколько этапов (рис. 6.4):

1. Сначала произошло уплотнение облака межзвездного вещества, состоящего из молекул (H_2 , H_2O , OH и др.) и пыли. Возможно, что уплотнение было обусловлено взрывом сверхновой звезды под действием ударной волны, которая распространилась от нее во все стороны. Продукты взрыва проникли в межзвездную пыль, которая впоследствии вошла в состав углистых хондритов (самых древних каменных метеоритов).

2. Наиболее плотные участки облака с массами порядка звездных начинают сжиматься. Облако распадается на фрагменты, один из которых впоследствии порождает Солнце и Солнечную систему. В центре сжимающегося фрагмента образуется сгущение пыли и газа, которое является ядром аккреции. (Аккреция - захват окружающей разреженной среды, приток которой постепенно увеличивает массу ядра.)

3. Через 10^4 - 10^5 лет после начала сжатия фрагмента масса центрального сгущения достигает примерно 0,1 массы Солнца, вещество становится непрозрачным, температура возрастает и пыль испаряется. После испарения пыли происходит диссоциация (распад) молекулярного водорода. При этом центральное сгущение сжимается, образуя газовое Протосолнце, которое формируется очень быстро (10-100 лет). В результате аккреции

межзвездного вещества Протосолнцем его масса и радиус увеличиваются. Примерно через 10^5 лет масса достигает современного уровня, а радиус становится примерно в 100 раз больше современного.



Приток межзвездного вещества прекращается, и начинается стадия гравитационного сжатия Протосолнца. В течение этого периода уже существует дискообразная газопылевая протопланетная туманность (ППТ), центром которой является Протосолнце. Оценки максимальной массы ППТ в разных теоретических моделях различны: от 0,01 до 2 масс Солнца. При этом не исключено, что диск ППТ приобретает кольцевую структуру, а во внешней его части начинается формирование планет-гигантов, которое происходит в общем так же, как и образование Протосолнца, включая образование дисков; впоследствии из них формируются системы спутников.

4. Следующий период занимает около 10^8 лет. Продолжается гравитационное сжатие Протосолнца. Размеры его уменьшаются, приближаясь к современным. Мощный звездный ветер выметает газ из внутренней части ППТ, а во внешней ее части продолжается формирование планет-гигантов. Пылевое вещество ППТ все более концентрируется у

некоторой средней плоскости. Вследствие роста концентрации пылинки сталкиваются, появляются все более крупные частицы, идет процесс аккумуляции (роста) твердых тел. Происходит преимущественный рост больших тел за счет малых. Наиболее крупные тела, подобные астероидам, — это планетезимали, зародыши планет. Особо крупные тела становятся ядрами аккреции, вокруг которых происходит формирование планет земной группы. Рост Земли до современных размеров продолжался, по-видимому, около 10^8 лет (есть оценки 10^5 лет). На поверхности планет обрушивались огромные глыбы планетезималей, образовывались гигантские кратеры, часть вещества выбрасывалась в пространство, материал поверхностей непрерывно перерабатывался. Согласно некоторым моделям, процесс аккреции был неоднородным — вначале накапливались тяжелые и менее тугоплавкие элементы (железо), а силикатные мантии образовались позже. Не все ученые согласны с приведенным описанием процесса образования планет земной группы. Так, в соответствии с альтернативной гипотезой их родоначальниками были крупные протопланеты (подобные Юпитеру или Сатурну), которые потеряли газовую оболочку из-за приливного взаимодействия с Солнцем.

В картине образования Вселенной, галактик, звезд, планет много неясного. Однако познание тонких механизмов эволюции Вселенной и ее частей продолжается. В частности, современная наука дает основания полагать, что у многих звезд существуют планетные системы. Какие именно звезды обладают планетными системами, аналогичными Солнечной? Обитаемы ли эти планетные системы, и если да, то часто ли встречается во Вселенной разумная жизнь? В последние десятилетия эту проблему исследуют на научной основе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что дает основания для выделения микро-, макро- и мегамиров? Что эти миры объединяет? Какие концепции наиболее полно описывают физические явления каждого из этих миров?

2. Каковы основные принципы классической механики? Как формировались взгляды классической механики? В чем сущность принципа относительности Г. Галилея?

3. В чем суть теории относительности и какие явления она описывает?

4. Каков смысл и зачем нужны преобразования Х.А. Лоренца?

5. В чем заключается сущность принципа относительности А. Эйнштейна? Чем он отличается от принципа относительности Г. Галилея?

6. Что изучает квантовая механика? Какие явления описываются в рамках этой теории?

7. Как возникли и развивались квантово-механические представления?

8. Как современные ученые определяют элементарные частицы и атомы? Могут ли они считаться простейшими «кирпичиками материи»?

9. Какие модели возникновения и эволюции Вселенной вы знаете? Каковы их основные позиции? На основании чего современное естествознание делает заключение об этом?

10. Как формировались звезды и галактики? На основании чего современное естествознание делает заключение об этом?

11. Какие теории о происхождении Солнечной системы вы знаете? В чем их сущность?

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакунин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М., 1983.

2. Вайскопф В. Наука и удивительное. Как человек понимает природу. М., 1965.

3. Вейнберг С. Гравитация и космология. М., 1975.

4. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. М., 1980.

5. Готт В.С. Философские вопросы современной физики. М., 1988.

6. Грядовой Д.И. Концепции современного естествознания: Структурный курс основ естествознания. М., 2000.

7. Давыдов А.С. Теория атомного ядра. М., 1958.
8. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания. Новосибирск, 1997.
9. Зельдович Я.Б., Блинников С.И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. М., 1981.
10. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М., 1975.
11. Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971.
12. Концепции современного естествознания /Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М., 1997.
13. Крейчи В. Мир глазами современной физики. М., 1984.
14. Кудрявцев П.С. История физики. М., 1948-1971. Т. 1-3.
15. Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н. Естествознание. М., 1996.
16. Ландау Л.Д., Смородинский Я.А. Лекции по теории атомного ядра. М., 1955.
17. Линднер Г. Картины современной физики. М., 1977.
18. Мэрион Дж.Б. Физика и физический мир. М., 1975.
19. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М., 1979.
20. Пиблс П. Физическая космология. М., 1975.
21. Плат М. Единство физической картины мира. М., 1966.
22. Прошлое и будущее Вселенной. М., 1986.
23. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М., 1984.
24. Семь путешествий в микромир. М., 1986.
25. Тюлина Н.А. История и методология механики. М., 1979.
26. Физический энциклопедический словарь. М., 1983.
27. Шама Д. Современная космология. М., 1973.
28. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М., 1980.
29. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., 1980.
30. Эйнштейн А. Эволюция физики. М., 2001.
31. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., 1966.
32. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи. М., 1976.

Глава 7

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА

§7.1. Химические явления и их сущность

Сущность химических явлений

Изучение химических явлений основывается на фундаментальных принципах физической картины мира и вносит большой вклад в описание явлений живой и неживой природы.

Простейшим носителем химических свойств служит атом (в том числе ионизированный) — система, состоящая из ядра и движущихся вокруг него (в его электрическом поле) электронов. В результате химического взаимодействия атомов образуются молекулы (радикалы, ионы, атомные кристаллы) - системы, состоящие из нескольких ядер, в общем поле которых движутся электроны. При химическом взаимодействии молекул одна конфигурация ядер и электронов разрушается и образуется новая. Акт химического взаимодействия состоит в образовании новых электронных (молекулярных) орбиталей.

В химических реакциях участвуют не отдельные частицы, а их большие коллективы — вещества, причем химическое изменение сопровождается появлением новых химических индивидов, или химических веществ. *Химическим индивидом обычно называют наименьшее количество вещества, повторением которого в пространстве можно воспроизвести данное вещество.* Таким образом, химическими индивидами будут атомы в

атомной решетке простого вещества (поэтому графит и алмаз, которые содержат атомы углерода С в своих кристаллических решетках, являются одним и тем же химическим индивидом) или группы атомов в составе сложного атомного вещества (SiC в решетке карбида кремния), молекулы в веществе молекулярного строения (H₂O в воде), ионные пары или более сложные ионные комплексы в ионном веществе (NaCl в поваренной соли, Na₂CO₃·10H₂O в кристаллической соде) и т.д. При таком определении изменение агрегатного состояния, полиморфный переход, механическое разрушение, образование некоторых растворов (например, газовых) нельзя назвать химическими явлениями.

Химические явления определяют развитие неживой и живой природы и отличаются от других, рассматриваемых в естествознании. Так, геолого-географические явления отличаются от химических участием во взаимодействии не веществ, а вещественных систем в литосфере, атмосфере, гидросфере и т.д., а также макромасштабами взаимодействий. Увеличение количества (массы) реагирующих участников процесса приводит к новым, отсутствующим в химии, закономерностям; примером может служить несмешиваемость вод Гольфстрима с окружающими их водами северных морей. Один из простейших носителей биологических явлений - клетка. В отличие от химических реакций, протекающих в неживых системах и основанных на статистических столкновениях беспорядочно распределенных в пространстве молекул, в клетке реагируют молекулы, пространственно закрепленные на матрице. Следовательно, в первом приближении есть возможность выделить химические явления среди других.

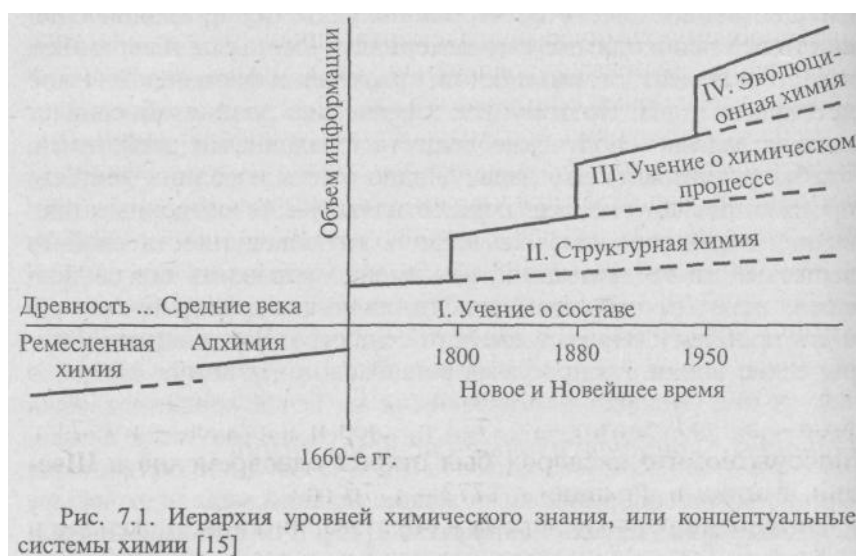
Изучение химических явлений требовалось человеку преимущественно для того, чтобы получать из природных веществ все необходимые ему материалы - металлы и керамику, известь и цемент, стекло и бетон, красители и фармацевтические препараты и т.д. Поэтому все химические знания объединяет главная задача — получение веществ с заданными свойствами. Чтобы реализовать эту задачу, надо уметь из одних веществ производить другие, т.е. осуществлять их качественные превращения. А поскольку качество - это совокупность свойств вещества, то следует знать, как именно управлять его свойствами, знать, от чего они зависят; иначе говоря, требуется решать проблему генезиса свойств вещества. В различные исторические эпохи эта проблема решалась по-разному.

Основные концептуальные системы химии

При всем многообразии химических явлений выделяют четыре основные концептуальные системы [15]. Эти системы появлялись последовательно во времени, причем каждая новая химическая концепция возникала на основе научных достижений предыдущей (рис. 7.1).

Первая химическая концепция - учение о составе - возникла в 1660-х гг. и связана с исследованием свойств веществ в зависимости от их химического состава. В период с середины XVII до второй половины XIX в. учение о составе веществ представляло собой практически всю химию. В настоящее время в ее рамках рассматриваются проблемы периодичности, стехиометрии (соотношения между количествами вступивших в реакцию реагентов и образующихся продуктов), а также физико-химический анализ как основа изучения многокомпонентных систем на основе построения диаграмм состав-свойство.

В 1800-е гг., когда стало очевидным, что свойства веществ и их качественное разнообразие обуславливаются не только составом, но и структурой молекул, возникла концепция структурной химии, предполагающая исследование структуры, т.е. способа взаимодействия элементов. Эта концепция опирается на атомно-молекулярную концепцию строения вещества. Развитие современной структурной химии связано с познанием в области квантово-механической теории строения атома, химической связи и строения вещества.



Третья концептуальная система - учение о химическом процессе - в 1950-е гг. завершает свой этап становления. В основании ее лежит представление о химической кинетике и химической термодинамике, а в ее рамках исследуются внутренние механизмы и условия протекания химических процессов (скорости протекания процессов, температура, давление и т.п., влияние катализаторов, ингибиторов и пр.).

Идеи четвертой концептуальной системы — эволюционной химии, — были сформулированы в 1970-х гг. Эта система находится в стадии становления. В центре ее внимания — открытые высокоорганизованные химические системы, развитие которых приводит к возникновению биологической формы движения. Эволюционная химия включает в себя учение об эволюционном катализе (теории саморазвития химических систем), а также теории биоорганической и бионеорганической химии.

§ 7.2. Химический состав вещества

Проблема химического элемента

Химический состав вещества рассматривается в рамках учения о составе, в котором обычно выделяют три основных проблемы: проблему химического элемента, проблему химического соединения, проблему вовлечения химических элементов в производство новых материалов [15, 16].

В настоящее время под *химическим элементом* понимают совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра. Начало современному представлению о химическом элементе как о «простом теле» или как о пределе химического разложения вещества, переходящем без изменения из состава одного сложного тела в состав другого, первым положил Р. Бойль в середине XVII в. Химики того времени не знали ни одного химического элемента. Фосфор был открыт только в 1669 г., а потом повторно в 1680 г., кобальт - в 1735 г., никель - в 1751 г., водород — в 1766 г., фтор - в 1771 г., азот — в 1772 г., хлор и марганец — в 1774 г. Любопытно, что кислород был открыт одновременно в Швеции, Англии и Франции в 1772 - 1776 гг.

Установив роль кислорода в образовании кислот, оксидов и воды, А.Л. Лавуазье опроверг господствовавшую в химии XVIII в. ложную теорию флогистона, согласно которой флогистон («огненная материя») содержался во всех горючих веществах и выделялся из них при горении. На основании своего открытия Лавуазье создал принципиально новую теорию химии. Ему принадлежит первая в истории попытка систематизации химических элементов. Он включил в свою систему кислород, водород, азот, серу, фосфор, углерод, семь известных к тому времени металлов, но также известь, магнезию, глинозем и кремнезем, мотивируя это тем, что они не поддавались

дальнейшему разложению.

Дальнейшие попытки систематизации химических элементов привели Д.И. Менделеева к его великому открытию. Он предложил считать показателем химического элемента его место в Периодической системе элементов, определяемое по атомной массе. Свою систему Менделеев создал на основе открытого им периодического закона. Современная формулировка этого закона звучит так: свойства элементов находятся в периодической зависимости от заряда их атомных ядер. Заряд ядра Z равен атомному (порядковому) номеру элемента в системе. Элементы, расположенные по возрастанию Z (H, He, Li, Be...), образуют семь периодов. В 1-м - два элемента (H, He), во 2-м и 3-м - по восемь, в 4-м и 5-м - по 18, в 6-м - 32, в 7-м периоде известны 24 элемента (на 1999 г.). В периодах свойства элементов закономерно изменяются при переходе от щелочных металлов к благородным газам. Вертикальные столбцы — группы элементов, сходных по свойствам. Внутри групп свойства элементов также изменяются закономерно (например, у щелочных металлов при переходе от Li к Fr возрастает химическая активность). Элементы с $Z = 58-71$, а также с $Z = 90-103$, особенно сходные по свойствам, образуют два семейства - соответственно лантаноидов и актиноидов. Периодичность свойств элементов обусловлена периодическим повторением конфигурации внешних электронных оболочек атомов. С положением элемента в системе связаны его химические и многие физические свойства.

Открытие периодического закона стимулировало поиск новых химических элементов. Так, если во времена Менделеева были известны 62 элемента, то уже в 1930-е гг. система элементов заканчивалась ураном ($Z = 92$). В дальнейшем элементы открывались путем физического синтеза атомных ядер - Tc, Pm, At, Fr, Np, Pu и элементы после $Z = 95$ включительно, причем Tc, Pm, Fr, Np позже в ничтожных количествах обнаружены в природе. В настоящее время самым тяжелым синтезированным элементом является элемент с $Z = 112$. Далее элементы оказываются неустойчивыми. Однако ученые предполагают, что могут быть «островки устойчивости» при $Z = 126, 164$ и даже 184.

Полное научное объяснение Периодической системы элементов базируется на законах квантовой механики. Система Менделеева лежит в основе современного учения о строении вещества, играет первостепенную роль в изучении всего многообразия химических веществ и в синтезе новых элементов.

Проблема химического соединения

Под химическим соединением в настоящее время понимают индивидуальное вещество, в котором атомы одного (например, N₂ и C₂) или различных (HbSCU, KC1) элементов соединены между собой химической связью. Сейчас известно свыше 5 млн химических соединений. Состав химических соединений в огромном большинстве случаев подчиняется законам постоянства состава и кратных отношений. Первый закон, открытый Ж.Л. Прустом в начале XIX в., гласит, что каждое химически чистое соединение независимо от способа и места его получения имеет один и тот же постоянный состав, причем отношения масс атомов элементов постоянны. В соответствии с законом кратных отношений, открытым Дж. Дальтоном в начале XIX в., если два химических элемента образуют друг с другом более одного соединения, то массы одного элемента, приходящиеся на одну и ту же массу другого, относятся как целые числа, обычно небольшие. Так, в оксидах азота N₂O, NO, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ соотношения массы кислорода к массе азота составляют 1:2:3:4:5.

Проблема химического соединения до недавнего времени не вызывала споров у ученых. Было общепринято, что нужно относить к химическим соединениям, а что - к «простым телам», или смесям. Однако применение современных физических методов исследования вещества обнаружило физическую природу химизма, а именно: атомы объединяют в молекулы как единую квантово-механическую систему внутренние силы - химические связи, а они представляют собой проявление волновых свойств валентных электронов.

Волновая природа электронов наделяет атомы их типичными свойствами. Наименьшими единицами многих веществ служат не атомы, а молекулы, т.е. группы атомов, тесно связанных друг с другом. Чтобы понять строение вещества, следует узнать не только строение атома, но и причину соединения атомов в молекулы - химическую связь. Квантовая механика дала объяснение химической связи: она возникает между атомами в результате взаимодействия электронных конфигураций различных атомов, причем тогда, когда эти конфигурации хорошо подходят друг другу, как зубцы шестерни или пазлы в головоломке. Конфигурации смешиваются и переплетаются, когда атомы приведены в соприкосновение, вследствие чего появляются новые конфигурации. Если атомные конфигурации очень хорошо подходят друг другу, при их сближении возникает одна крупная округлая единица, но только несколько большая и более компактная - насыщенная молекула, не присоединяющая других атомов. Например, два атома водорода, каждый с простейшей электронной конфигурацией, образуют молекулу водорода, в которой обе электронные конфигурации сливаются в одну эллиптическую.

Таким образом, химическая связь в своей основе имеет электрическую природу. Ее прочность обусловлена квантовой устойчивостью совокупной электронно-волновой картины образовавшейся молекулы. Поскольку существуют многочисленные способы соединения и переплетения электронных конфигураций, существует множество химических соединений разных типов.

В результате раскрытия физической сущности химической связи классическое понятие молекулы изменилось. Молекулой по-прежнему называют наименьшую частицу вещества, способную определять его свойства и существовать самостоятельно. Но теперь в число молекул включают и такие квантово-механические системы, как ионные, атомные и металлические монокристаллы и полимеры, образованные за счет водородных связей. Поэтому некоторые неорганические вещества (оксиды, хлориды, сульфиды, нитриды металлов) относят к веществам молекулярного строения, не имеющим постоянного состава.

Дело в том, что реальные монокристаллы любых твердых веществ всегда имеют дефекты: вакантные узлы кристаллической решетки; атомы, попавшие в междоузлия; дислокации как отклонения от геометрических норм данной кристаллической решетки и т.д. Именно они становятся реакционными центрами при вхождении твердого вещества в химические реакции. Помимо химической связи, которая держит атомы связанными в молекулы, существуют межмолекулярные силы. Они слабее химической связи, но именно они определяют агрегатное состояние вещества. Когда две молекулы сближаются, электронные конфигурации каждой из них стремятся колебаться в унисон. Благодаря этому возникает притяжение (так называемые ван-дер-ваальсовы силы), сила которого зависит от типа движения электрона.

Межмолекулярные силы держат молекулы близко друг от друга, т.е. они ответственны за агрегацию молекул. В жидких и твердых веществах молекулы как бы «слипаются», а в газах каждая движется сама по себе. Агрегатное состояние вещества сильно зависит от температуры: при очень низких температурах почти все вещества становятся твердыми, при очень высоких все переходят в газообразное состояние, а при промежуточных температурах они находятся в жидком состоянии. Значения температур, при которых происходят эти превращения (точка плавления, точка кипения), зависят от силы притяжения между молекулами.

При очень низких температурах тепловое движение незначительно, поэтому молекулы «выстраиваются» в строго правильные ряды и удерживаются в таком виде межмолекулярными силами — образуется твердое тело. Правильное расположение молекул проявляется в кристаллах - твердых телах, в которых правильное расположение атомов сохраняется в больших объемах и проявляется в виде прямых ребер и правильно расположенных граней и вершин. Если попытаться деформировать кристалл, изгибая или ломая его, чувствуется сопротивление - при перемене взаимного расположения атомов

надо преодолеть межмолекулярные силы, которые удерживают атомы в определенных местах.

Молекулы и атомы в твердых телах столь близки, что часто сливаются. При этом соседние электронные конфигурации перекрываются так сильно, что все твердое вещество следует рассматривать как одну большую молекулу. Например, для металлов характерно следующее: внешние электроны атомов образуют конфигурации, простирающиеся по всему куску металла, и электроны свободно переходят от одного атома к другому, поэтому металлы служат хорошими проводниками электрического тока.

При более высоких температурах тепловое движение усиливается и разрушает упорядоченное расположение молекул или атомов в твердом теле. Молекулярные силы все еще держат молекулы плотно упакованными, но уже не могут заставить их располагаться упорядоченным образом. В таких телах сопротивление деформированию или изгибанию отсутствует, однако молекулы все еще остаются друг возле друга - образуется жидкость. Переход от твердого состояния к жидкому зависит от силы межмолекулярного взаимодействия: если оно велико, как в горной породе или в металле, нужна высокая температура, чтобы преодолеть связи, удерживающие молекулы в правильном порядке; если оно мало, как в воде или воздухе, переход в другое агрегатное состояние возможен при меньших температурах.

Когда температура становится выше точки кипения, тепловое движение усиливается настолько, что преодолевает не только упорядочивающее, но и связывающее действие межмолекулярных сил. Тогда молекулы отрываются друг от друга и разлетаются во всех направлениях, сталкиваясь между собой и распределяясь по всему доступному объему, - образуется газ. Температура, при которой образуется газ, также зависит от межмолекулярных сил. В воздухе эти силы столь малы, что не могут удерживать молекулы вместе уже при обычных температурах. В некоторых металлах и горных породах они так велики, что для перехода этих веществ в газообразное состояние нужна температура примерно 2000 °С.

Повышение температуры ослабляет характерные свойства и степень организации вещества. В твердом состоянии вещества имеют типичные формы (кристаллов), обладают специфическим строением и твердостью, их легко распознать. В жидком состоянии собственная форма и структура утеряны - вещество принимает форму сосуда, сохраняются только характерная плотность, цвет и ограничивающая поверхность. Газообразное состояние еще менее специфично. Газообразное вещество не имеет своей характерной плотности и поверхности, остаются только его цвет и запах. Однако во всех трех состояниях вещество построено из одних и тех же молекул или атомов.

Проблема вовлечения химических элементов в производство новых материалов

Последняя проблема учения о составе — вовлечение новых химических элементов в производство материалов. Известно, что 98,6% массы физически доступного слоя Земли составляют всего восемь химических элементов: 47% - кислород, 28% - кремний, 9% - алюминий, 5% - железо, 4% - кальций, 3% - натрий, 3% - калий, 2% - магний. Однако эти ресурсы используются неравномерно. Например, железа содержится в Земле в 2 раза меньше, чем алюминия, но более 95% металлических изделий - конструкций, разнообразных машин и механизмов, транспортных путей — производится из железорудного сырья.

Распространенность кремния (97% массы земной коры составляют силикаты) дает основание утверждать, что силикаты могут стать основным сырьем для производства практически всех строительных материалов и полуфабрикатов, при изготовлении керамики, способной конкурировать с металлами.

Металлы и керамика — материалы, на 90% составляющие материальную основу жизни человека. Достижения химии позволяют заменять металлы керамикой, причем керамика имеет плотность на 40% меньше плотности металлов, что позволяет снизить массу

изготавливаемых из керамики деталей. Благодаря внедрению в производство керамики таких химических элементов, как цирконий, титан, бор, германий, хром, молибден, вольфрам и др., стали получать керамические изделия с заранее заданными специальными свойствами - огнеупорную, термостойкую, хемостойкую, высокотвердую, а также керамику с набором заданных электрофизических свойств.

В нашей стране в 1960-х гг. получен сверхтвердый материал -гексанит-Р - кристаллическая разновидность нитрида бора с температурой плавления 3200 °С и твердостью, близкой к твердости алмаза, с рекордно высокой вязкостью; у него отсутствует хрупкость, присущая керамике. Такая керамика производится методом прессования порошков с получением необходимых форм и размеров, что делает ненужной дальнейшую обработку. Кроме того, создана керамика, обладающая сверхпроводимостью при температуре выше температуры кипения азота (-195,8 °С). Это открывает перспективы для создания сверхмощных двигателей и электрогенераторов, транспорта на магнитной подушке, для разработки сверхмощных магнитных ускорителей, вывода полезных грузов в Космос и т.п.

Начиная с середины XX в. новые химические элементы (от алюминия до фтора) стали использоваться в синтезе элементарно-органических соединений (содержащих химическую связь элемент - углерод). Новые элементоорганические соединения применяют и в качестве химических реагентов для лабораторных исследований, и для синтеза уникальных материалов.

§ 7.3. Химическая структура вещества

Проблемы, решаемые в рамках учения о химической структуре

Развитие знания о химических явлениях позволило установить, что большое влияние на свойства вещества оказывает не только его химический состав, но и структура молекул - их взаимное расположение друг по отношению к другу (упорядоченность). Осознание этого стало началом структурной химии. Ключевым понятием данной концептуальной системы является «структура», точнее, структура молекулы реагента, в том числе макромолекулы или монокристалла. *Под структурой обычно понимают устойчивую упорядоченность качественно неизменной системы, каковой является молекула* [15, 16].

В изучении структуры вещества оказались важными работы Дж. Дальтона, который в 1803 г. показал, что химический индивид представляет собой совокупность молекул, обладающих строго определенным качественным и количественным составом. В 1830-е гг. Й.Я. Берцелиус выдвинул гипотезу, согласно которой молекула представляет собой не хаотическое нагромождение атомов, а определенную упорядоченность - объединение двух разноименно заряженных атомов или атомных групп (радикалов), способных к самостоятельному существованию. В 1840-х гг. Ш. Жерар сделал вывод, что модель Берцелиуса - достаточно редко отвечает действительности, а в общем случае молекула является единой неделимой системой. В этой системе все атомы химических элементов, входящих в нее, взаимодействуют и взаимно преобразуют друг друга.

В формировании идей структурой химии большую роль сыграла теория валентности Ф.А. Кекуле (1857). Он выдвинул идею о существовании четырех единиц сродства: у углерода четыре единицы сродства, у азота - три, у кислорода - две, у водорода - одна единица. Количество единиц сродства, присущее атому того или иного химического элемента, он назвал валентностью элемента. По представлениям Кекуле, объединение атомов в молекулу происходит путем присоединения свободных единиц сродства. Комбинируя атомы разных химических элементов с их единицами сродства, можно создавать структурные формулы любого химического соединения. Следовательно, возможен синтез любого химического соединения. Присущий формулам Кекуле схематизм наталкивал исследователей на попытки синтеза самых разнообразных веществ путем комбинирования всевозможных органических радикалов и бирадикалов типа СН, СН₃,

СОН, СН₃ и т.д., которые можно получить посредством преобразования соответствующих молекул.

Теория химического строения А.М. Бутлерова добавила к представлениям Кекуле энергетическую оценку связей, показав их энергетическую неэквивалентность. Он доказал, что от количества сродства следует отличать его напряженность - большую или меньшую энергию, с которой она связывает вещества между собой, что является причиной активности одних веществ и пассивности других. Теория Бутлерова также указала на наличие активных центров и активных группировок в структуре молекулы, что способствовало активной деятельности химиков в направлении синтеза органических соединений.

В 1860—1880-е гг. появился термин «органический синтез» и на основе простейших углеводов из каменноугольной смолы и аммиака были синтезированы анилиновые красители - фуксин, анилиновая соль, ализарин, затем индиго, флавоны и ксантоны; взрывчатые вещества - тринитротолуол, тринитрофенол; лекарственные препараты - уротропин, аспирин, фенацетин, антифебрин, салол и др.

Однако сведений только о молекулах вещества, находящегося в дореакционном состоянии, которые давала структурная химия, оказалось недостаточно для того, чтобы управлять процессами превращения веществ. Структурная химия не смогла указать пути получения этилена, ацетилен, бензола и других так называемых диеновых углеводородов с цепочкой С=С-С=С из парафиновых углеводородов, хотя все эти процессы составляют основу нефтехимического производства и легко осуществляются. Производство, основанное на базе органического синтеза, имело очень низкий выход продукции, большие отходы (кроме синтеза азокрасителей и взрывчатых веществ) и требовало использования дорогостоящего сельскохозяйственного сырья — зерна, жиров, молочных продуктов.

Относительно недавно был открыт новый класс металлоорганических соединений, которые за свою двухслойную структуру получили название «сэндвичевые соединения». Молекула этого соединения представляет собой две «пластины» из соединений водорода и углерода, между которыми находится атом какого-либо металла. Они сыграли важную роль в пересмотре представлений о валентности и химической связи. Их можно рассматривать как наглядную демонстрацию наличия у молекул единой системы электронно-ядерного взаимодействия.

Другая группа вопросов в концептуальной системе структурной химии связана с проблемами структурной неорганической химии. По существу это проблемы химии твердого тела. В широком смысле их две:

◇ синтез кристаллов с максимальным приближением к идеальной решетке для получения материалов с высокой механической прочностью, термостойкостью и долговечностью в эксплуатации;

◇ создание методов синтеза кристаллов с запроектированными дефектами решетки, что позволит получить материалы с заданными электрофизическими и оптическими свойствами.

Образование химических структур и химическая связь

Образование различных химических структур имеет свои характерные особенности. Взаимодействуя, атомы соединяются друг с другом, образуя посредством химических связей двух- и многоатомные соединения - молекулы, радикалы, ионы и кристаллы. Образование таких соединений приводит к выигрышу в энергии, так как в обычных условиях молекулярное состояние устойчивее, чем атомное. Химические связи имеют в основном электромагнитный характер; при их образовании происходит перераспределение электронной плотности связывающихся атомов. Главные отличительные черты химической связи: 1) полная энергия многоатомной системы меньше энергии изолированных атомов или атомных фрагментов, из которых она образована; 2)

электронная плотность в области химической связи существенно перераспределена по сравнению с простым наложением электронных плотностей несвязанных атомов или атомных фрагментов, сближенных на расстояние связи.

По характеру распределения электронной плотности связывающихся атомов обычно выделяют следующие основные типы связей:

◇ *ковалентная* связь, которая осуществляется парой электронов, общих для двух атомов, образующих связь. Атомы в молекуле могут быть соединены неполной ковалентной связью: одинарной (H_2 , H_3C-CH_3), двойной ($H_2C=CH_2$), тройной (N_2 , $HC\equiv CH$) или полярной (HCl , H_3C-SF) в зависимости от электроотрицательности;

◇ *ионная* связь, в основе которой лежит электростатическое взаимодействие между противоположно заряженными ионами - электрически заряженными частицами, которые образуются из атома (молекулы) в результате потери или присоединения одного или нескольких электронов. Положительно заряженные ионы называются катионами, отрицательно заряженные — анионами. Примеры ионной связи - молекулы $NaCl$ и KF ;

◇ *металлическая* связь, которая проявляется при взаимодействии атомов элементов, имеющих избыток свободных валентных орбиталей по отношению к числу валентных электронов; эту связь можно представить так: ионный кристаллический остов погружен в электронный газ - свободные электроны, которые непрерывно перемещаются между положительными ионами и компенсируют электростатическое отталкивание ионов, связывая их в твердое тело;

◇ *координационная* (донорно-акцепторная) связь характерна для комплексных соединений (гемоглобин, хлорофилл и др.), в молекулах которых выделяют центральный атом (комплексообразователь) и непосредственно связанные с ним молекулы или ионы (лиганды, обычно 4 или 6). Координационная связь обусловлена передачей электронной пары с заполненной орбитали донора на вакантную орбиталь центрального атома (акцептора) с образованием общей связывающей молекулярные орбитали. При этом центральный атом и лиганды образуют внутреннюю сферу. Внешнюю сферу составляют ионы, заряд которых компенсирует заряд внутренней сферы. Например, в $[Co(MH_3)_6]Cl_3$ совокупность атомов в квадратных скобках - внутренняя сфера, Co - центральный атом, NH_3 - лиганды, ионы Cl - внешняя сфера.

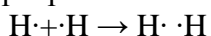
Помимо этого выделяют водородные связи и межмолекулярные взаимодействия. *Водородная связь* образуется в результате взаимодействия атома водорода, связанного ковалентной связью, с электроотрицательным атомом и неподеленной парой электронов другого атома. Атомы могут принадлежать как одной, так и разным молекулам. Водородная связь приводит к ассоциации одинаковых или различных молекул в комплексы; она во многом определяет свойства воды и льда, молекулярных кристаллов, структуру и свойства белков, нуклеиновых кислот и др. *Межмолекулярные взаимодействия* электрической природы происходят между молекулами с насыщенными химическими связями. Впервые существование такого взаимодействия принял во внимание Я.Д. Ван-дер-Ваальс (1873) для объяснения свойств реальных газов и жидкостей.

В чистом виде перечисленные типы связей проявляются редко. В большинстве соединений имеет место наложение разных типов связей. При этом любая химическая связь образуется только тогда, когда сближение атомов приводит к уменьшению полной энергии системы.

Среди способов, которыми соединяются атомы друг с другом, стоит подробнее рассмотреть ковалентную связь, т.е. образование общих электронных пар между атомами различных химических элементов, причем здесь главную роль играют валентные электроны, расположенные на внешней оболочке и связанные с ядром атома. Если у атома на внешней оболочке восемь электронов, она называется завершенной. Атомы, имеющие такое строение, обладают большой устойчивостью например, атомы инертных газов Ne , Ar и др.). Внешние оболочки атомов других элементов являются незавершенными и; они

завершаются в процессе химических реакций.

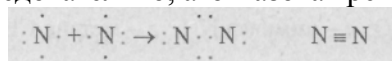
Выделяют неполярную и полярную ковалентные связи. Неполярная ковалентная связь существует в самой простой молекуле - молекуле водорода H_2 , состоящей всего из двух атомов водорода. В образовании молекулы участвуют два атома водорода, в каждом из которых на внешней оболочке вращается один электрон. При сближении атомов перекрываются электронные орбитали (рис.7.2, а) и образуется общая пара электронов



Каждый из атомов водорода завершает свой внешний уровень (оболочку), образуя при этом устойчивый дуплет электронов. Общая пара электронов, в равной степени принадлежащая каждому из атомов водорода, и есть химическая связь между атомами; поскольку она одна, валентность атома водорода равна единице:

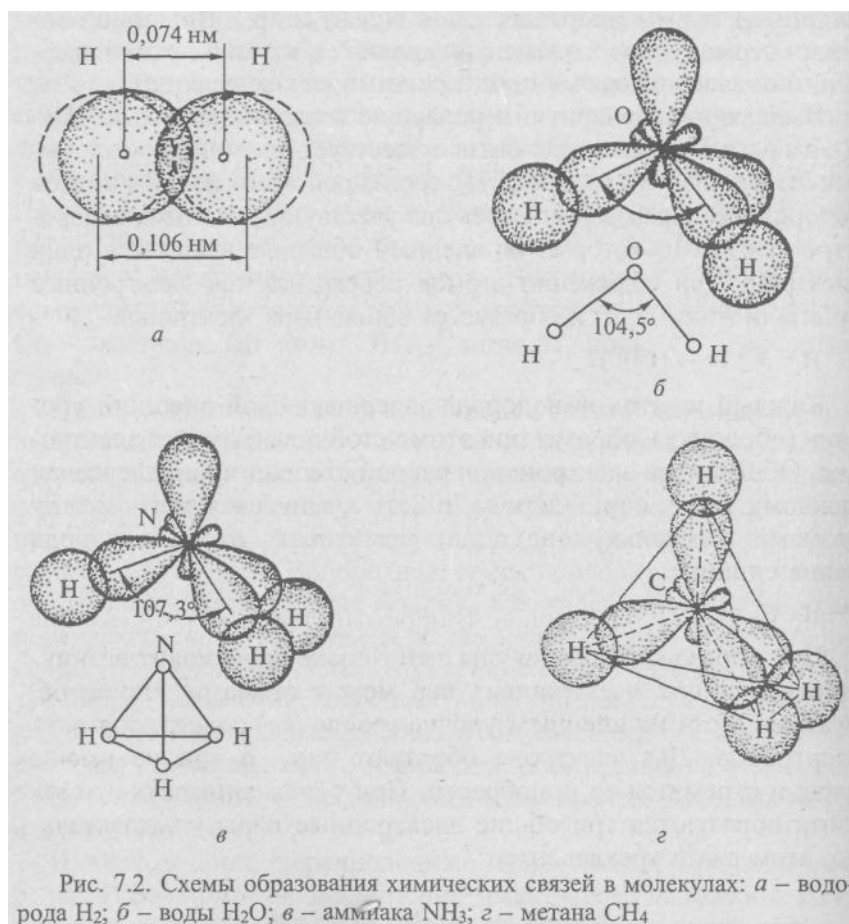


При образовании молекулы азота также происходит возникновение общих электронных пар между атомами элементов. У атома азота на внешнем уровне (оболочке) содержится пять электронов. Два электрона образуют пару, а три не имеют пары и стремятся ее приобрести. При сближении двух атомов азота образуются три общие электронные пары, следовательно, атом азота трехвалентен:



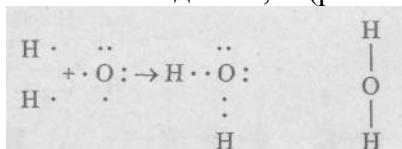
Теперь каждый из атомов азота имеет по восемь электронов на внешнем уровне (оболочке), т.е. оболочка завершена и устойчива.

Примером полярной ковалентной связи служит связь в молекуле воды H_2O . Если при образовании молекул водорода и азота атомы в молекулах одинаковы и общая электронная пара в равной степени принадлежит каждому из атомов, то в ситуациях, когда атомы неметаллов различны, общая электронная пара будет оттянута к атому того элемента, который сильнее притягивает и удерживает электроны. Так, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода.

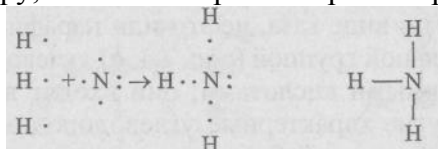


На внешнем уровне (оболочке) атома водорода содержится один электрон, а у атома кислорода - шесть электронов. При сближении атомов кислорода и водорода образуется устойчивая оболочка из восьми электронов у атома кислорода (два не имеющих пары электрона приобретают ее у атома водорода):

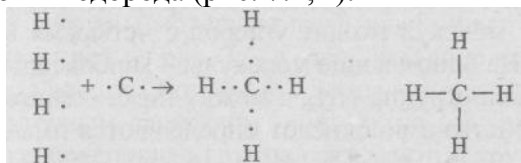
На внешнем уровне у атома водорода не остается электронов. До образования молекулы воды электронные облака внешнего слоя (оболочки) атома кислорода находились под углом 90° ; в молекуле воды из-за взаимного отталкивания атомов водорода угол связи увеличивается до $104,5^\circ$ (рис. 7.2, б).



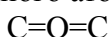
В молекуле аммиака NH_3 атом азота имеет пять электронов, из которых два составляют пару; остальные три электрона образуют пары с тремя электронами водорода (рис. 7.2, в):



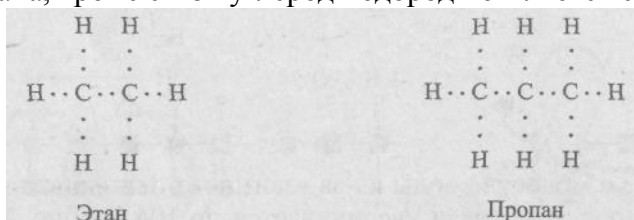
Атом углерода особенно приспособлен к образованию молекул. Так, в молекуле метана CH_4 четыре электрона атома углерода, не имеющих пары, находят недостающие электроны у атома водорода. Атом углерода приобретает устойчивое состояние из восьми электронов. В пространстве электронные облака внешнего слоя (оболочки) атома углерода располагаются под углом 109° и образуют тетраэдр, в вершинах которого размещаются атомы водорода (рис. 7.2, г):



В молекуле диоксида углерода CO_2 четыре валентных электрона углерода попарно связаны с двумя атомами кислорода. В результате формируется вытянутая структура из одного атома углерода и двух атомов кислорода по бокам:



Атом углерода со своими четырьмя валентными электронами может давать нескончаемый ряд молекул (рис. 7.3). Поэтому на Земле широко распространены соединения углерода - метан, этан, пропан, бутан, октан и др. В этих молекулах, начиная с этана, кроме связи углерод-водород появляется связь углерод-углерод:

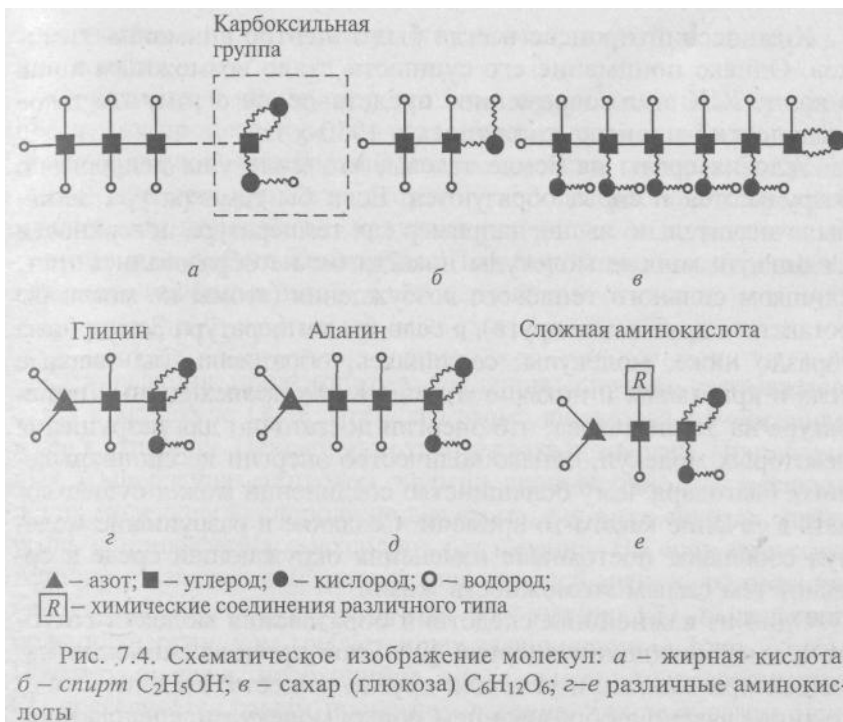
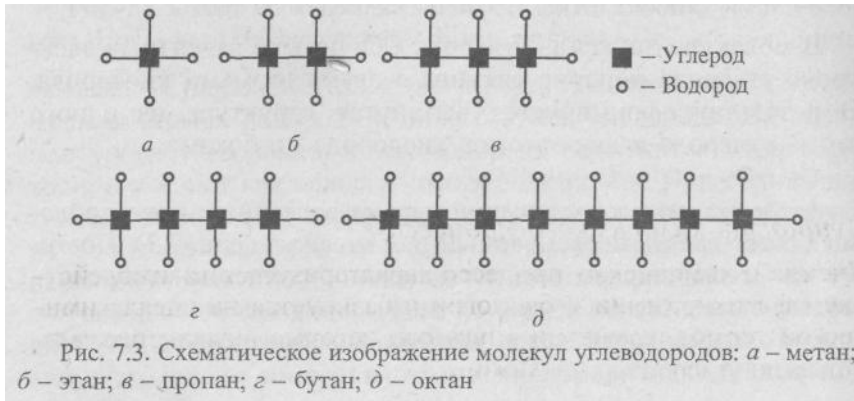


Углеводородные структуры могут иметь любую длину, причем короткие молекулы присущи газам, более длинные - жидкостям и очень длинные — твердым веществам. Углеводороды служат горючим в виде газа, нефти или парафина. Оканчивающиеся карбоксильной группой (рис. 7.4, а) углеводородные цепи называются жирными кислотами; они входят в состав животных жиров. Другие характерные углеводородные структуры - молекулы спиртов (рис. 7.4, б).

Еще одна важная группа молекул с длинными цепями - молекулы углеводов. Их цепи подобны углеводородным, но к каждому звену цепи присоединен кислород. Простейший углевод - глюкоза, один из видов Сахаров (рис. 7.4, в). Такой углевод, как целлюлоза, имеет очень длинную цепь; она присутствует в больших количествах в древесине и других

растительных структурах.

Почти вся живая материя построена из аминокислот. На рис. 7.4, *г-е* показан общий принцип построения таких структур. В скелет этих молекул входит углерод с четырьмя валентными электронами. На одном конце молекулы — карбоксильная группа, на другом - аминогруппа NH₂, а между ними - множество других групп; свойства аминокислот определяются именно ими. На рис. 7.4, *г, д* показаны молекулы двух простейших аминокислот (глицина и аланина), на рис. 7.4, *е* - в общем виде строение более сложных аминокислот.



Концевые группы аминокислот обладают весьма характерным свойством - они легко соединяются. Аминогруппа и карбоксильная группа связываются друг с другом, и аминокислоты образуют длинные цепи (одна аминокислота как бы цепляется за другую). Такие цепи называются белками и играют важную роль в жизни живых организмов.

§ 7.4. Химические процессы

Сущность химического процесса

Учение о химическом процессе характеризуется взаимодействием физики, химии и биологии и базируется на идеях химической термодинамики и кинетики, которые обычно рассматриваются в физической химии.

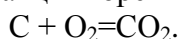
Химический процесс всегда был в центре внимания химиков. Однако понимание его сущности стало возможным лишь в конце XIX в., а современное представление о том, что

такое химический процесс, сложилось в 1950-х гг.

Условия среды на Земле таковы, что молекулы непрерывно разрушаются и снова образуются. Если бы температура Земли была значительно выше, например как температура поверхности Солнца, то многие молекулы никогда бы не образовались из-за слишком сильного теплового возбуждения (атомы не могли бы оставаться друг возле друга), а если бы температура Земли была гораздо ниже, молекулы, соединяясь, образовали бы твердые тела и кристаллы и никакие изменения не происходили. Температура на Земле такова, что энергии достаточно для разрушения некоторых молекул, однако количество энергии не слишком велико, благодаря чему большинство соединений может существовать в течение какого-то времени. Создание и разрушение молекул сообщают постоянные изменения окружающей среде и создают тем самым возможность жизни.

Одно из важнейших следствий образования молекул состоит в высвобождении энергии [2]. Этот процесс особенно нагляден при сжигании угля или других веществ. Горение любого типа связано с образованием новых молекул и, следовательно, с выделением тепловой энергии. Рассмотрим подробнее, как и почему высвобождается энергия при соединении атомов в молекулы. Понятно, что для разрыва химической связи требуется некоторое количество энергии и такое же ее количество высвобождается при образовании связи. Таким образом, нужно затратить энергию, чтобы разделить молекулу на атомы, и энергия выделяется, когда атомы образуют молекулу. Эта энергия проявляется в различных формах, например в виде колебаний. Когда атомы соединяются, образующаяся молекула начинает колебаться в результате сильного столкновения атомов. Вообще, когда атомы образуют молекулу, энергия высвобождается и обычно проявляется в форме движения, что эквивалентно теплоте. В некоторых особых случаях энергия связи не превращается в теплоту: химические реакции присоединения происходят таким образом, что энергия, выигранная при образовании молекул, передается молекулам другого рода, т.е. энергия образования молекулы запасается в другой молекуле, а не растрачивается в виде теплоты. Этот случай важен для поддержания жизни.

Обратимся к такому хорошо известному химическому процессу, как процесс горения угля. Углерод угля и кислород воздуха образуют углекислый газ - диоксид углерода. Кусок угля - это совокупность атомов углерода, расположенных в правильном порядке, т.е. кристалл углерода. Кислород воздуха состоит из молекул кислорода. Поэтому химическая реакция горения угля имеет вид



Эта реакция происходит в два этапа: сначала разрывается связь в молекуле O_2 , а затем два атома кислорода присоединяются к углероду. Первый этап требует затрат энергии. При обычных температурах тепловой энергии недостаточно для расщепления молекулы кислорода на два атома, как в тех случаях, когда уголь соприкасается с воздухом без горения. Но если подвести теплоту от зажженной спички или горящей щепки, то реакция начнется. На втором ее этапе при образовании CO_2 выделяется больше энергии, чем требуется для расщепления O_2 (рис. 7.5, а). Поэтому энергия, необходимая для дальнейшего расщепления O_2 , поставляется самим процессом горения. Таким образом, при горении угля большая часть энергии выделяется в виде теплоты, а часть энергии, высвобождаемой на втором этапе, идет на инициирование дальнейших реакций. Полезная теплота равна избытку энергии, выделяющейся на втором этапе, над энергией, потребной для первого этапа.

Начавшись, образование диоксида углерода продолжается до тех пор, пока не израсходуется весь углерод. При этом выделяется большое количество теплоты. Нагревание столь сильно, что атомы и молекулы начинают испускать свет. Пламя, которое мы видим при горении угля, состоит из молекул CO_2 и атомов углерода, выброшенных в результате сильного нагрева и испускающих излучение. Таким образом, пламя не вид вещества (флогистон), как некогда полагали. Это накаленная материя, полученная в

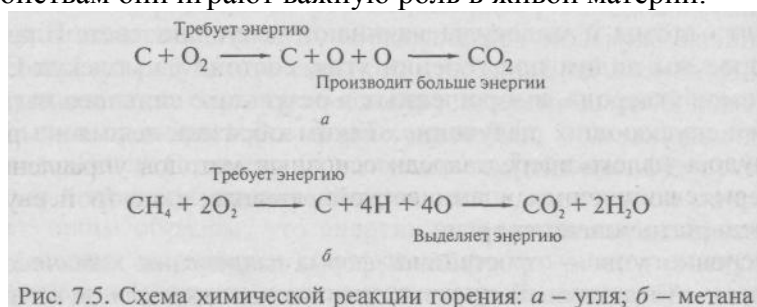
химической реакции, в которой выделяется очень много энергии.

Горение угля - простейшая форма выделения химической энергии. Аналогичный процесс происходит при горении метана и других углеводородов. Здесь требуется начальная теплота, чтобы расщепить и молекулы O_2 , и молекулы углеводорода. После этого углерод соединяется с кислородом, образуя диоксид углерода, а водород соединяется с кислородом, образуя воду. Химическая реакция горения метана CH_4 показана на рис. 7.5 б.

Так как в молекулах CH_4 и O_2 связи существенно слабее, чем в молекулах CO_2 и H_2O , чистый выигрыш энергии в данной реакции очень велик. Поэтому метан и другие углеводороды дают сильное пламя и много теплоты. Однако в отличие от горения угля в пламени углеводородов вместе с раскаленным CO_2 содержится водяной пар. Если подержать холодное стекло в пламени свечи или горящего дерева, то на стекле образуется конденсированный водяной пар, который не получается в пламени чистого угля.

Таким же образом любая молекула, состоящая из углерода, водорода и кислорода, может гореть, т.е. превращаться в углекислый газ и водяной пар, соединяясь с кислородом воздуха. Но для горения молекул спирта или сахара нужно меньшее количество кислорода, поскольку они сами содержат O_2 .

Химические реакции, производящие энергию, всегда начинаются с превращения молекул со слабыми связями в молекулы с прочными связями; при этом высвобождается разница в энергиях сильной и слабой связи. Молекулы CO_2 и воды имеют прочные связи; то же можно сказать о большинстве молекул, в которых атомы связаны с кислородом. Молекулы, содержащие углерод и водород, связаны слабо, они легко разрушаются и рекомбинируют, могут образовывать длинные цепи и способны объединяться в сложные структуры. Если их слабые связи превращаются в сильные связи с кислородом в результате какого-либо сложного процесса, то выделяется энергия. Благодаря этим свойствам они играют важную роль в живой материи.



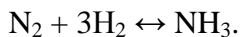
Принципы управления химическим процессом

Основная проблема в учении о химических процессах связана с тем, что многие химические реакции были и остаются трудноуправляемыми. Одни из них пока не удается осуществить, хотя в принципе они выполнимы. Другие сложно остановить, например реакцию горения и взрывы. Трудности управления третьими обусловлены тем, что в их процессе самопроизвольно создается множество непредвиденных ответвлений с образованием побочных продуктов [15, 16].

Суть проблемы заключается в следующем. Каждая химическая реакция обратима и представляет собой перераспределение химических связей. Обратимость служит основанием равновесия между прямой и обратной реакциями. Однако на практике равновесие смещается в ту или иную сторону в зависимости от природы реагентов и условий процесса. Реакции, в которых равновесие смещено «вправо» - в сторону образования целевых продуктов, обычно не требуют особых средств управления. Таковы реакции кислотно-основного взаимодействия, или нейтрализации, а также реакции, сопровождающиеся удалением готовых продуктов в виде газов или осадков.

Однако немало реакций происходит со смещением равновесия «влево». Для их

осуществления требуется особое термодинамическое управление. Такова, в частности, реакция синтеза аммиака:



Эта реакция очень проста с точки зрения состава и структуры исходных веществ. Но на протяжении XIX в. попытки ее осуществления приводили к неудачам. В настоящее время решение проблемы управления химическими процессами продвинулось далеко вперед. Среди основных методов управления ими выделяют термодинамические и кинетические (в первую очередь каталитические).

Основы теории *термодинамических методов управления* химическими процессами были заложены в конце XIX в. в рамках химической термодинамики, которая изучает химические превращения на основе представления о термодинамическом равновесии в макроскопических системах. Химическая термодинамика включает учения о химическом равновесии, растворах, фазовых переходах и процессах на границе раздела фаз. В их основу положены идеи нидерландского ученого Я.Х. Вант-Гоффа, установившего зависимость направления химической реакции от изменения температуры и теплового эффекта реакции, а также принцип подвижного равновесия французского исследователя А.Л. Ле Шателье, согласно которому каждая реакция обратима, но равновесие смещается в зависимости от природы реагентов и условий процесса. Таким образом, основными рычагами управления реакцией служат температура, давление и концентрации реагирующих веществ.

В настоящее время термодинамические соотношения широко применяют для определения максимально возможного (при данных температуре, давлении и т.п.) выхода продуктов химических реакций и прочих параметров технологических процессов в химической, металлургической и других отраслях промышленности. Использование понятий и методов термодинамики неравновесных процессов позволяет оценивать потоки теплоты и вещества для открытых систем с учетом скоростей химических превращений, но влиять только на направленность.

Кинетические (в первую очередь *каталитические*) *методы* дают возможность влиять и на скорость химических процессов. Эти методы активно развиваются в рамках химической кинетики - учения о скоростях и механизмах химических реакций, надежной основы создания новых и совершенствования существующих процессов химической технологии: горения, гетерогенного катализа, электрохимических процессов и др. Методы химической кинетики используются в биологии и других областях естествознания. С их помощью удается добиться изменения хода процессов при изменении структурно-кинетических факторов: строения исходных реагентов, их концентрации, наличия в реакторе катализаторов (веществ, ускоряющих химические реакции), ингибиторов (веществ, замедляющих реакции) и других добавок, способов смешения реагентов, материала и конструкции реакторов и т.д.

К наиболее важным кинетическим методам относится ускорение химической реакции в присутствии катализаторов — катализ (от греч. *katalysis* — разрушение). Катализаторы (синтетические алюмосиликаты, металлы платиновой группы, серебро, никель и др.) взаимодействуют с реагентами, но в реакции не расходуются и не входят в состав продуктов. Катализ был открыт в 1812 г. российским ученым К.Г.С. Кирхгофом, который получил сахар с помощью катализатора (серной кислоты) из крахмала. Различают гомогенный катализ, когда исходные реагенты и катализатор находятся в одной фазе (газовой или жидкой), и гетерогенный, когда газообразные или жидкие реагенты взаимодействуют на поверхности твердого катализатора. Катализ обуславливает высокие скорости реакций при небольших температурах. Каталитические реакции являются основой многих химико-технологических процессов (например, производства серной кислоты, некоторых полимеров, аммиака). Большинство процессов, происходящих в живых организмах, также являются каталитическими (или ферментативными, так как биологические катализаторы называются ферментами).

На современном уровне знания суть катализа может быть охарактеризована следующим образом. Во-первых, катализ представляет собой способ проведения химических реакций, особенность которого состоит в активизации молекул и ослаблении химических связей реагента при их контакте с катализатором. Во-вторых, в общем случае любую каталитическую реакцию можно представить проходящей через промежуточный комплекс, в котором происходит перераспределение ослабленных (неполновалентных) химических связей. В-третьих, в большинстве случаев в качестве катализаторов выступают соединения, молекулы которых содержат широкий набор энергетических неоднородных связей или даже свободные атомы на поверхности. В-четвертых, следствием взаимодействия молекул реагента с катализатором является не только ослабление исходных связей, а еще четыре эффекта: 1) химическая ориентация в заданном направлении, при котором катализатор выбирает из нескольких возможных направлений какое-либо одно; 2) матричная ориентация реакций, проявляющаяся в том, что изменение структуры молекул реагента определяется особенностями геометрического строения катализатора или особенностями структуры каталитического комплекса; 3) увеличение количества встреч реагирующих молекул при переводе реакции из объема на поверхность катализатора; 4) захват твердым телом катализатора некоторой части энергии реакции, т.е. превращение катализатора в «энергетическую ловушку» для энергетической подпитки новых актов реакции.

§ 7.5. Химическая эволюция

Этапы химической эволюции

Химическая эволюция — процесс необратимых изменений, приводящий к появлению новых химических соединений - продуктов, более сложных и высокоорганизованных по сравнению с исходными веществами. Эти процессы стали активно и целенаправленно исследовать в 1970-е гг. в связи с изучением проблемы постоянно усложняющихся химических процессов до уровня, способствовавшего возникновению живого вещества на Земле. Интерес к этим процессам восходит к давним попыткам понять, как из неорганической материи возникает органическая, а далее и жизнь. Первым осознал высокую упорядоченность и эффективность химических процессов в живых организмах основатель органической химии Й.Я. Берцелиус (конец XVIII - начало XIX в.). Он установил, что основой лаборатории живого организма является биокатализ. Большое значение каталитическому опыту живой природы придавалось и в XX в. Так, академик Н.Н. Семенов рассматривал химические процессы, протекающие в тканях растений и животных, как своеобразное «химическое производство» живой природы.

Кратко рассмотрим этапы химической эволюции [5, 23]. Вероятно, следует признать, что она началась с появлением простейшего носителя - атома. Согласно концепции Большого взрыва, существующие сейчас химические элементы возникли в процессе эволюции Вселенной от сверхплотного и сверхгорячего состояния до современного мира звезд и галактик. Предполагается, что первыми образовались простейшие атомы (вернее, их ядра) водорода. Приблизительно через 1 с после Большого взрыва плотность материи уменьшилась до 1 т/см^3 , температура - до 100 млрд К, а диаметр вырос до 1500 млрд км. Вещество находилось в состоянии полностью ионизированной плазмы, состоящей из нуклонов (протонов и нейтронов) и электронов. Еще через 10 с, когда температура понизилась до 10 млрд К, появились условия для протекания ядерной реакции образования дейтронов — ядер дейтерия (тяжелого водорода).

Однако при этой температуре равновесие данной реакции сильно сдвинуто влево (оно сдвигается вправо только при температуре 1 млрд К - примерно через 100 с после Большого взрыва), и дейтроны не могли накапливаться, так как они при этих условиях превращаются в ядра гелия (эта схема вполне удовлетворительно объясняет количество гелия в нашей Вселенной). На дозвездной стадии развития материи ядра других

химических элементов не образуются, поскольку плотность и температура расширяющейся Вселенной быстро падают. При этом процесс образования ${}^4\text{He}$ (цифра слева вверху - относительная атомная масса, т.е. масса атома, выраженная в атомных единицах массы, которая составляет 1/12 массы изотопа углерода с массовым числом 12 — $1,6605655(86)10^{-27}$ кг), начавшись приблизительно через 2 мин после Большого взрыва, прекращается уже к концу 4-й минуты. При остывании Вселенной до температуры 3500 К (приблизительно через 1 млн лет) происходит рекомбинация ядер гелия и оставшихся ядер водорода с электронами: образуются атомы гелия и водорода — исходный материал для межзвездного газа и звездных систем.

Дальнейший синтез химических элементов продолжается, в недрах звезд при повышении температуры. В процессе конденсации в протозвезду межзвездного газа, состоящего из водорода и гелия, в результате гравитационного сжатия температура повышается и снова становится возможной реакция образования гелия из водорода. Этот этап характеризуется температурами, не превышающими $20 \cdot 10^6$ К.

После ядер гелия ${}^4\text{He}$ наиболее устойчивыми являются ядра ${}^{12}\text{C}$ и O . Термоядерная эпоха образования таких ядер ($T \approx 100$ млн К) наступает после того, как на первом этапе истощается, «выгорает» водород. В эту эпоху в плотных выгоревших ядрах звезд-гигантов возможно непосредственное образование углерода и кислорода (не атомов, а ядер). Дальнейшее слияние ядер гелия приводит к образованию ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$ и т.п. Более поздняя ядерная эпоха, когда обеспечивается температура до 1 млрд К, характеризуется «горением» углерода. При этом образуются ядра вплоть до ${}^{27}\text{Al}$ и ${}^{28}\text{Si}$. Выше 30 млрд К в реакцию вступают более тяжелые ядра, начиная с кремния ${}^{32}\text{Si}$. В условиях складывающегося при этом термодинамического равновесия синтезируются элементы вплоть до железа и атомы близких ему элементов, ядра которых являются самыми стабильными ядрами. При этом достигается минимум энергии всей системы, и более тяжелые ядра не синтезируются. Получение элементов с большими атомными номерами осуществляется по другому механизму — последовательный захват ядрами нейтронов и последующий β -распад. В подобных процессах в качестве самого тяжелого может получиться нуклид ${}^{181}\text{Bi}$. Ядра, более тяжелые, чем ${}^{181}\text{Bi}$, синтезируются во время взрывов новых и сверхновых звезд в условиях огромной плотности нейтронных потоков, когда возможен захват ядрами нейтронов не по одному, а группами.

Можно с большой долей вероятности предположить, что в Солнечной системе сменилось несколько этапов ядерного синтеза. Сравнение химического состава Солнца и химического состава звездного вещества позволяет заключить, что все описанные выше процессы синтеза ядер имели место в Солнечной системе, причем первоначальная масса образовавшейся в нашем участке Галактики звезды превышала критическую (равную 1,44 массы Солнца), и она оказалась неустойчивой. Под действием гравитационного притяжения протозвезда сжималась, ее температура повышалась, обеспечивая первые этапы ядерного синтеза. Выделяющаяся при этом энергия оказалась слишком велика, вследствие чего через некоторое время происходил взрыв и образовывались ядра самых тяжелых элементов. Масса звезды уменьшалась за счет выброса вещества. Этот процесс повторялся неоднократно до тех пор, пока масса центральной массивной звезды не стала ниже критического предела. Такой механизм обеспечивает интервал времени, достаточный для химической, геолого-географической и биологической эволюции.

В настоящее время многие исследователи полагают, что планеты Солнечной системы образовались из солнечной материи, выброшенной из Солнца, когда оно становилось сверхновой звездой. Охлаждение образовавшейся вокруг Солнца дискообразной газовой туманности дало возможность для соединения атомов в молекулы, т.е. началась собственно химическая эволюция.

Молекулы не могли образоваться при звездных температурах, когда большинство атомов существует в виде многозарядных ионов (например, в солнечной короне при 1 млн К атомы железа являются ионами Fe^{134}). Двухатомные молекулы обнаружены в спектрах

лишь наиболее холодных звезд с температурой поверхности 2000-3000 К (оксиды Al, Mg, Ti, Zr, C, Si и некоторые другие двухатомные молекулы с наиболее прочной химической связью). При этом в межзвездном пространстве присутствует большое количество молекул, в том числе достаточно сложных (табл. 7.1). Предполагается, что состав указанных молекул соответствует составу первых молекул, образовавшихся в результате охлаждения звездного вещества. Найдены и другие молекулы, но в значительно меньших количествах.

Таблица 7.1. Молекулы, обнаруженные в межзвездном пространстве [5, 23]

Наименование молекулы	Химическая формула	Наименование молекулы	Химическая формула
Метилидин-радикал	CH	Муравьиная кислота	HCOOH
Циан-радикал	CN	Сероводород	H ₂ S
Гидроксид-ион	OH ⁻	Оксид серы (II)	SO
Аммиак	NH ₃	Этанол	C ₂ H ₅ OH
Вода	H ₂ O	Диметиловый эфир	(CH ₃) ₂ O
Метилацетилен	CH ³ CCH	Оксид серы (IV)	SO ₂
Изоциановая кислота	HNCO	Сульфид кремния (II)	SiS
Тиоформальдегид	H ₂ CS	Цианоацетилен	HCCCN
Оксид кремния (II)	SiO	Формаид	HC(O)NH ₂
Уксусный альдегид	CH ₃ CHO	Сульфид углерода (II)	CS
Формальдегид	HCHO	Ацетонитрил	CH ₃ CN
Водород	H ₂	Этинил-радикал	HC≡C
Оксид углерода (II)	CO	Метиламин	CH ₃ NH ₂
Циановодород	HCN	Акрилонитрил	H ₂ C=CHCN
Метанол	CH ₃ OH	Метилформиат	HCOOCH ₃

Когда температура протопланетной туманности понизилась до 1000-1800 К, начали конденсироваться, т.е. становиться жидкими и твердыми, самые тугоплавкие вещества, в частности образовались капельки железа, а впоследствии и силикатов (солей кремниевых кислот).

При температурах 400-1000 К конденсировались другие металлы и их соединения с серой и кислородом. Застывшие капли силикатного материала в виде хондр (маленьких сферических тел) образовали, по-видимому, при последующем сгущении множество астероидов - первичных тел хондритовых метеоритов. Можно предположить, что в результате дифференциации первичного газа под действием солнечного ветра (истечения плазмы солнечной короны в межпланетное пространство) и градиента температур атомы наиболее легких элементов были отброшены на периферию Солнечной системы и расположенные ближе к Солнцу планеты земного типа возникли путем сгущения наиболее высокотемпературной фракции с повышенным содержанием железа.

Содержание летучих компонентов, которые, вероятно, попали в планетное вещество главным образом в результате адсорбции на пылевых частицах или химических реакций с ними, оказалось очень малым. Поэтому масса гидросферы Земли составляет лишь 0,024%, а атмосферы - 0,00009% общей массы Земли.

С формированием Земли как планеты на химическую эволюцию стала оказывать действие эволюция Земли. Это влияние выражалось (и выражается в настоящее время) в

изменении концентрационного распределения химических элементов в теле Земли и по ее оболочкам (в атмосфере, гидросфере, коре, мантии, ядре), а также в создании условий (температура, давление) для образования новых веществ.

Конечно, при этом имело место и обратное воздействие. Образование новых веществ и появление возможностей для новых химических процессов вызывали формирование новых геологических образований, например осадочных пород. Таким образом, геологическая и химическая эволюции протекают в значительной степени совместно, взаимно влияя друг на друга. Химическая эволюция привела к появлению жизни. Это произошло благодаря развитию не веществ, а химических систем и процессов, в них происходящих.

Проблема самоорганизации химических систем

Выделяют субстратный и функциональный подходы к решению проблем самоорганизации предбиологических химических систем в биологические [15,16]. Результатом *субстратного подхода* к проблеме биогенеза является накопленная информация об отборе химических элементов и структур.

Считается, что многие из 109 открытых на сегодня химических элементов, попадая в живые организмы, участвуют в их жизнедеятельности. Основу живых систем составляют шесть элементов - органогенов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера. Общая весовая доля этих элементов в организмах составляет около 97,4%. За ними следуют еще 12 элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем: натрий, калий, кальций, магний, алюминий, железо, кремний, хлор, медь, цинк, кобальт, никель. Их весовая доля в организмах примерно 1,6%. Еще около 20 элементов участвуют в построении и функционировании узкоспецифических биосистем, например водорослей, состав которых определяется в известной мере питательной средой. Участие всех остальных элементов в построении биосистем практически не зафиксировано. При этом в настоящее время насчитывается более 5 млн химических соединений, из которых 96% - органические, состоящие из перечисленных 6-18 элементов. Остальные 90 химических элементов в условиях Земли входят всего в 300 тыс. неорганических соединений.

Наиболее распространенные на Земле органогены - кислород и водород. Распространенность углерода, азота, фосфора и серы в поверхностных слоях Земли примерно одинакова и в общем невелика — около 0,24% по весу. В то же время можно говорить о господстве во Вселенной двух элементов - водорода и гелия, а все остальные элементы следует рассматривать как примесь к ним. Таким образом, геохимические условия не играют существенной роли в отборе химических элементов при формировании органических и биологических систем. Определяющими факторами выступают требования соответствия между строительным материалом и высокоорганизованными структурами, из которых они сооружаются.

С химической точки зрения эти требования сводятся к отбору элементов, способных образовывать прочные и энергоемкие связи, причем связи лабильные. Указанным условиям отвечает углерод, который способен вмещать и удерживать внутри себя самые редкие химические противоположности. Азот, фосфор, сера как органогены, а также железо и магний, составляющие активные центры ферментов, тоже отличаются лабильностью. Кислород и водород не столь лабильны, но они являются носителями окислительных и восстановительных процессов.

Подобно тому как из всех химических элементов только шесть органогенов и 10-16 других элементов отобраны природой для основы биосистем, так и в ходе эволюции шел отбор химических соединений. Из миллионов органических соединений в построении живого участвуют только несколько сот. Более того, из 100 известных аминокислот в состав белков входят 20 и только по четыре нуклеотида ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота - высокомолекулярное соединение, содержащееся в ядрах клеток живых

организмов; вместе с белками образует вещество хромосом, ДНК — носитель генетической информации) и РНК (рибонуклеиновая кислота — высокомолекулярное соединение, участвующее в реализации генетической информации в клетках всех живых организмов) составляют основу всех сложных полимерных нуклеиновых кислот, ответственных за наследственность и регуляцию белкового синтеза в любых живых организмах.

Из такого узкого круга органических веществ построено все разнообразие мира животных и растений. Полагают, что, когда период химической подготовки сменился периодом биологической эволюции, химическая эволюция в каком-то смысле застыла. Доказательством этого служит тот факт, что аминокислотный состав гемоглобина самых низших позвоночных животных и человека практически один и тот же. Более или менее одинаковыми остаются у разных видов растений состав ферментативных средств, состав веществ, накапливаемых впрок, и т.п.

Одна из важнейших задач науки связана с определением пути химической подготовки, в результате которой из минимума химических элементов и химических соединений образовался сложнейший высокоорганизованный комплекс — биосистема. Это важно выяснить для того, чтобы научиться у природы (а затем, может быть, и пойти дальше ее) приспособлять к своим нуждам «менее организованные материалы», например синтезировать сахар из CO_2 , CO , H_2 и H_2O и т.д. Последние научные открытия показывают, что в ходе химической эволюции отбирались те структуры, которые способствовали повышению активности и селективности действия каталитических групп. Первая и наиболее простая структура - различные фазовые границы. Они служили основой физической и химической адсорбции, которая вносила элементарное упорядочение во взаимное расположение частиц, увеличивала их концентрацию и выступала фактором проявления каталитического эффекта. Вторым структурным фрагментом считают группировки, обеспечивающие процессы переноса электронов и протонов, — полупроводниковые цепи и структуры, ответственные за перенос водорода. Третья структура, необходимая для эволюционирующих систем, - группировки, выполняющие задачу энергетического обеспечения; к ним относятся оксидогруппы, фосфорсодержащие и др.

Следующим фрагментом эволюционирующих систем является развитая полимерная структура типа РНК и ДНК. Она выполняет ряд функций, свойственных перечисленным выше структурам, а главное - роль каталитической матрицы, на которой осуществляется воспроизведение себе подобных структур. В связи с этим привлекает внимание ряд выводов, полученных различными путями в самых разных областях науки (геологии, геохимии, космохимии, термодинамике, химической кинетике). Во-первых, считается, что на ранних стадиях химической эволюции мира катализ отсутствовал. Высокие температуры (намного более 5000 К), электрические разряды и радиация препятствуют образованию конденсированного состояния и перекрывают те порции энергии, которые необходимы для преодоления энергетических барьеров. Во-вторых, проявления катализа возможны при смягчении условий образования первичных твердых тел. В-третьих, роль катализатора возрастала по мере того, как условия (главным образом температура) приближались к существующим сейчас на Земле. Но общее значение катализа еще не могло быть высоким вплоть до образования более или менее сложных органических молекул. В-четвертых, появление таких относительно несложных систем, как C_3OH , $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, $\text{HC}=\text{CH}$, H_2CO , HCOOH , $\text{HC}\equiv\text{N}$, а тем более оксикислот, аминокислот и первичных Сахаров, было некаталитической подготовкой старта для большого катализа. В-пятых, роль катализа в развитии химических систем начала сильно возрастать после достижения стартового состояния - известного количественного минимума органических и неорганических соединений. Отбор активных соединений происходил из тех продуктов, которые получались относительно большим числом химических путей и обладали широким каталитическим спектром.

Отличительной чертой *функционального подхода* к проблеме предбиологической эволюции является концентрация усилий на исследовании самоорганизации материальных систем, на выявлении законов, которым подчиняются такие процессы. Этот подход получил большое распространение у физиков и математиков, рассматривающих эволюционные процессы с позиции кибернетики. Крайней точкой зрения здесь является утверждение о полном безразличии к материалу эволюционных систем, поэтому живые системы, вплоть до интеллекта, могут быть смоделированы, например, из металлических систем.

В 1960-е гг. А.П. Руденко выдвинул *общую теорию химической эволюции и биогенеза*. Он осуществил синтез рациональных сторон субстратного и функционального подходов. Его теория в комплексе решает вопросы о движущих силах и механизме эволюционного процесса, т.е. о законах химической эволюции, отборе элементов и структур и их причинной обусловленности, химической организации и иерархии химических систем как следствии эволюции. Пока только эта теория может служить основанием эволюционной химии как новой концептуальной системы.

Сущность данной теории состоит в утверждении, что химическая эволюция представляет собой саморазвитие каталитических систем и, следовательно, эволюционирующим веществом являются катализаторы. В ходе реакции происходит естественный отбор наиболее активных каталитических центров. Те же центры, изменение которых связано с уменьшением активности, постепенно исключаются из кинетического процесса. При многократных последовательных необратимых изменениях катализатора переход его на все более высокие уровни сопровождается эволюцией базисной реакции как за счет изменений состава и структуры катализаторов, функционировавших в начале реакции, так и вследствие дробления химического процесса на элементарные стадии и появления на них новых катализаторов, которые появляются не путем захвата их из внешней среды, а благодаря саморазвитию.

Руденко сформулировал основной закон химической эволюции, согласно которому с наибольшей скоростью и вероятностью реализуются те пути эволюционных изменений катализатора, на которых происходит максимальное увеличение его абсолютной активности.

Считается, что саморазвитие, самоорганизация и самоусложнение каталитических систем обусловлены постоянным потоком трансформируемой энергии. А так как главным источником энергии служит базисная реакция, то максимальные эволюционные преимущества получают каталитические системы, развивающиеся на основе реакций с самым большим средством (экзотермические реакции). Таким образом, базисная реакция является не только источником энергии, необходимой для полезной работы в системе, которая направлена против равновесия, но и инструментом отбора наиболее совершенных эволюционных изменений в катализаторе.

Теория саморазвития открытых каталитических систем имеет ряд важных следствий. Во-первых, можно классифицировать этапы химической эволюции, а на этой основе классифицировать катализаторы по уровню их организации следующим образом: кристаллы, близкие к идеальным, - реальные кристаллы после раскристаллизации — реальные кристаллы с включением примесей из сферы реакций - твердые кристаллы с хемосорбированными комплексами - гомогенные каталитические системы - микрогетерогенные и коллоидные системы.

Во-вторых, появляется принципиально новый метод изучения катализа как динамического явления, связанного с изменением катализаторов в ходе реакций.

В-третьих, дается конкретная характеристика пределов химической эволюции и перехода от хемогенеза к биогенезу в результате преодоления так называемого второго кинетического предела саморазвития каталитических систем.

В настоящее время набирает потенциал новое направление, расширяющее представление об эволюции химических систем, — нестационарная кинетика, которая

занимается теорией управления нестационарными процессами. Развитие химических знаний позволяет надеяться на разрешение многих проблем, стоящих перед человечеством: значительное ускорение химических превращений в «мягких» условиях; осуществление новых, энергетически затрудненных процессов путем сопряжения эндо- и экзотермических реакций; возможность экономии углеводородного сырья и переход от нефти к углю -более распространенному сырьевому источнику. Химия имеет реальные предпосылки для моделирования и интенсификации фотосинтеза; фотолиза воды с получением водорода как самого высокоэффективного и экологически чистого топлива; промышленного синтеза на основе углекислого газа широкого спектра органических продуктов, в первую очередь метанола, этанола, формальдегида и муравьиной кислоты; промышленного синтеза многочисленных фторматериалов. Сегодня созрели условия для создания малоотходных и энергосберегающих промышленных производств.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чем заключается сущность химических явлений? От чего зависят свойства веществ?
2. Что такое концептуальные системы химии? Какие концептуальные системы химии вы знаете?
3. Какие основные проблемы состава вещества вы знаете? Кратко охарактеризуйте их.
4. Дайте определение химического элемента. Сколько их известно и почему этих элементов ограниченное количество?
5. Что такое химическое соединение? Как в настоящее время определяют понятие «молекула»?
6. Что такое структура молекулы реагента? Какие проблемы решаются в рамках изучения структуры вещества?
7. Как происходит образование химических структур и что такое химическая связь? Какие химические связи вы знаете?
8. Что такое химический процесс? Почему в процессе химических реакций происходят поглощение и выделение энергии? Приведите примеры.
9. Каковы основные принципы *управления* химическими процессами?
10. Что такое каталитические системы?
11. Назовите основные этапы химической эволюции.
12. Какие проблемы изучения химической эволюции вы знаете?
13. В чем сущность идеи саморазвивающихся каталитических систем?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахметьев Н.С.* Неорганическая химия. М., 1975.
2. *Вайскопф В.* Наука и удивительное. Как человек понимает природу. М., 1965.
3. *Глинка Н.Л.* Общая химия. М., 1982.
4. *Грядовой Д.И.* Концепции современного естествознания: Структурный курс основ естествознания. М., 2000.
5. *Гузей Л.С., Кузнецов В.Н., Гузей А.С.* Общая химия. М., 1999.
6. *Добротин Р.Б.* Состав-структура-процесс. Л., 1984.
7. *Дубнищева Т.Я.* Концепции современного естествознания. Новосибирск, 1997.
8. *Карапетьянец М.Х.* Введение в теорию химических процессов. М., 1978.
9. *Карапетьянец М.Х., Дракин Е.И.* Строение вещества. М., 1978.
10. *Кемпбел Дж.* Современная общая химия. Т. 1, 2. М., 1975.
11. Концепции современного естествознания /Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова. М., 1997.
12. *Коулсон Ч.* Валентность. М., 1965.
13. *Краснов К.С.* Молекулы и химическая связь. М., 1977.
14. *Крестов Г.А., Березин Б.Д.* Основные понятия современной химии. Л., 1986.

15. Кузнецов В.И. Общая химия. Тенденция развития. М., 1989.
16. Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н. Естествознание. М., 1996.
17. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А. Начала химии. М., 1997.
18. Курс химии. Ч. 1: Общетеоретическая / Под ред. Г.А. Дмитриева, Г.П. Лучинского, В.И. Семишина. М., 1971.
19. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. Электронные оболочки. М., 1979.
20. Некрасов Б.В. Основы общей химии. М., 1976.
21. Несмеянов А.А., Несмеянов Н.А. Органическая химия. Т. 1, 2. М., 1969-1970.
22. Николаев Л.А. Современная химия. М., 1970.
23. Общая химия / Под ред. Е.М. Соколовской, Л.С. Гузея. М., 1989.
24. Полинг Л., Полине П. Химия. М., 1978.
25. Реми Г. Курс неорганической химии. Т. 1, 2. М., 1972, 1974.
26. Слейбо У., Персоне Т. Общая химия. М., 1979.
27. Соловьев Ю.И. История химии. М., 1976.
28. Татевский В.М. Строение молекул. М., 1977.
29. Третьяков Ю.Д., Метлин Ю.Г. Основы общей химии. М., 1980.
30. Фигурновский Н.А. История химии. М., 1979.
31. Химический энциклопедический словарь. М., 1983.
32. Химия: Справочные материалы / Под ред. Ю.А. Третьякова. М., 1994.
33. Хомченко Г.П. Химия для поступающих в вузы. М., 1996.
34. Шукарев С.А. Неорганическая химия. Т. 1, 2. М., 1970, 1974.
35. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи. М., 1976.

Глава 8

КОСНОЕ ВЕЩЕСТВО ЗЕМЛИ

§ 8.1. Форма и строение Земли

Форма Земли

Земля является той ареной, на которой возникают, развиваются и погибают цивилизации, происходит становление единого современного общества. От того, насколько хорошо мы будем понимать устройство нашей планеты, во многом зависит наше будущее. Однако мы знаем о ней не больше (а зачастую и существенно меньше), чем о далеких звездах.

Начнем с представлений о форме Земли. В настоящее время никто не отрицает утверждения о том, что наша планета «круглая». Действительно, в первом приближении форма Земли определяется как шаровидная. Такое представление возникло еще в Древней Греции. И только в XVII-XVIII вв. оно стало уточняться. Было выяснено, что Земля сплюснута по оси вращения (разница между осями составляет около 21 км). Предполагается, что Земля формировалась под влиянием совместного действия гравитации и центробежных сил. Равнодействующая этих сил - сила тяжести — выражается в ускорении, которое приобретает каждое тело у поверхности Земли. Уже И. Ньютон теоретически обосновал положение, согласно которому Земля должна быть сжата в направлении оси вращения и принять форму эллипсоида, что было впоследствии подтверждено эмпирически. Позднее было обнаружено, что Земля сжата не только на полюсах, но в небольшой степени и по экватору. Наибольший и наименьший радиусы экватора различаются на 213 м, т.е. Земля является трехосным эллипсоидом. Но представления о Земле как об эллипсоиде также верны лишь в первом приближении.

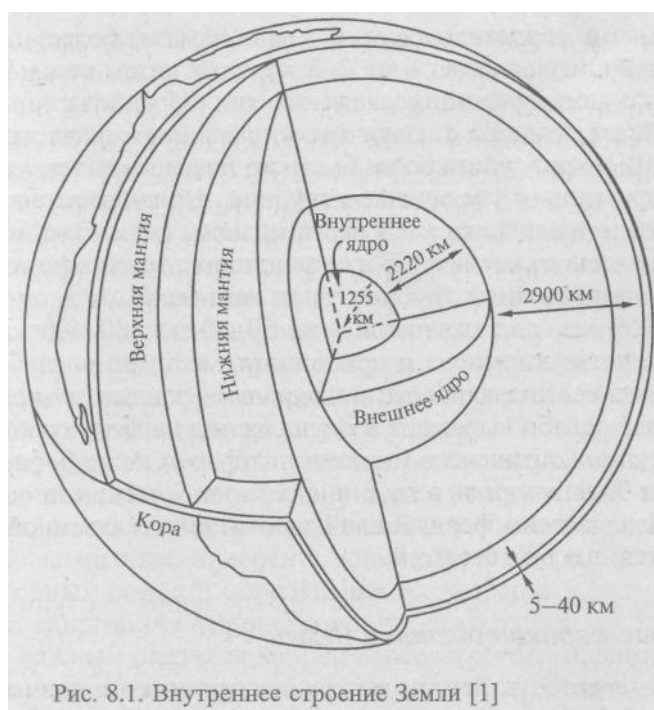
Реальная поверхность Земли еще более сложна. Наиболее близок к современной фигуре Земли *геоид* - *воображаемая уровенная поверхность, по отношению к которой вектор*

силы тяжести повсеместно направлен перпендикулярно. На площади акватории океанов геоид совпадает с поверхностью воды, находящейся в полном покое. Расхождение между геоидом и эллипсоидом местами достигает $\pm(100-150)$ м, что объясняется неравномерным распределением масс разной плотности в теле Земли, влияющим на изменение силы тяжести, следовательно, и на форму геоида. В настоящее время для создания геодезической основы карт и других целей в России используется эллипсоид Красовского со следующими основными параметрами: экваториальный радиус 6378,245 км; полярный радиус 6356,863 км; полярное сжатие $1/298,25$; площадь поверхности Земли около 510 млн км², ее объем $1,083 \cdot 10^{12}$ км³. Масса Земли составляет $5,976 \cdot 10^{27}$ г.

Внутреннее строение Земли

Отметим, что непосредственному наблюдению доступны только самые верхние (до глубин 15—20 км) горизонты земной коры, выходящие на поверхность или вскрытые рудниками, шахтами и буровыми скважинами. Суждения о составе и физическом состоянии более глубоких оболочек основываются на данных геофизических методов, т.е. имеют предположительный характер. Из этих методов особое значение имеют сейсмический метод, основанный на регистрации скорости распространения в теле Земли волн, вызываемых землетрясениями или искусственными взрывами. В очагах землетрясений возникают так называемые продольные сейсмические волны, которые рассматриваются как реакция среды на изменение объема, и поперечные волны реакция среды на изменение формы, - распространяющиеся только в твердых телах. На основе геофизических наблюдений установлено, что Земля неоднородна и дифференцирована вдоль радиуса.

В настоящее время известно несколько моделей строения Земли. Большинство исследователей принимает модель, согласно которой выделяются три главные оболочки Земли, разделенные четко выраженными поверхностями сейсмического раздела, где скорости сейсмических волн резко изменяются (рис. 8.1) [1, 10, 12, 35]:



1) земная кора - твердая верхняя оболочка Земли. Ее мощность изменяется от 5-10 км под океанами до 30-40 км в равнинных областях и достигает 50-75 км в горных районах (максимальные значения встречаются под Андами и Гималаями);

2) мантия Земли распространяется ниже земной коры до глубины 2900 км от поверхности и подразделяется на две части: верхнюю мантию - до глубины 900-1000 км и

нижнюю мантию - от 900-1000 до 2900 км;

3) ядро Земли, где выделяют внешнее ядро, - до глубины около 5120 км и внутреннее ядро — ниже 5120 км. *Земная кора* отделяется от мантии в большинстве случаев достаточно резкой сейсмической границей - поверхностью Мохоровичича (сокращенно Мохо, или М). Сейсмическим методом в верхней мантии выявлен слой относительно менее плотных, как бы «размягченных» горных пород - астеносфера. В этом слое наблюдаются понижение скорости сейсмических волн, особенно поперечных, и повышение электрической проводимости, что свидетельствует о менее вязком, более пластичном состоянии вещества - на 2-3 порядка ниже, чем в покрывающих и подстилающих слоях мантии. Предполагается, что эти свойства связаны с частичным плавлением вещества мантии (1-10%) в результате более быстрого повышения температуры, нежели давления с увеличением глубины. Вязкость астеносферы существенно изменяется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, изменяется и ее мощность. Астеносфера располагается на различных глубинах: под континентами - от 80-120 до 200-250 км, под океанами - от 50-70 до 300-400 км. Она наиболее четко выражена и приподнята, местами до глубин 20-25 км и менее, под наиболее подвижными зонами земной коры и, напротив, слабо выражена и опущена под наиболее спокойными участками континентов (щитами платформ). Астеносфере принадлежит большая роль в глубинных геологических процессах. Твердый наастеносферный слой мантии вместе с земной корой называется литосферой.

Основные характеристики Земли

Средняя плотность Земли, по гравиметрическим данным, составляет 5,5 г/см³. Плотность горных пород, слагающих земную кору, колеблется от 2,4 до 3,0 г/см³. Сопоставление этих значений со средней плотностью Земли приводит к предположению, что с глубиной должно наблюдаться увеличение плотности в мантии и ядре Земли. Считается, что в над астеносферной части мантии ниже границы Мохо породы значительно плотнее. При переходе от мантии к ядру происходит скачок плотности до 9,7-10,0 г/см³, затем она повышается и во внутреннем ядре составляет 12,5-13,0 г/см³.

Рассчитано, что ускорение силы тяжести изменяется от 9,82 м/с² у поверхности до максимального значения 10,37 м/с² в основании нижней мантии (2900 км). В ядре ускорение силы тяжести быстро падает, доходя на глубине около 5000 км до 4,52 м/с², далее на глубине 6000 км падая до 1,26 м/с², а в центре - до нуля.

Известно, что Земля представляет собой как бы гигантский магнит с силовым полем вокруг. В современную эпоху магнитные полюса Земли расположены вблизи географических полюсов, но не совпадают с ними. В настоящее время происхождение главного магнитного поля Земли чаще всего объясняют с помощью динамотеорической концепции Френкеля-Эльзассера, согласно которой это поле возникает в результате действия системы электрических токов, вызванных сложными конвективными движениями в жидком внешнем ядре при вращении Земли. На общий фон магнитного поля накладывается влияние горных пород, которые содержат ферромагнитные минералы, залегающие в верхней части земной коры, в результате чего на поверхности Земли образуются магнитные аномалии. Остаточная намагниченность горных пород, содержащих ферромагнитные минералы, ориентирована, как магнитное поле Земли, существовавшее в период их образования. Исследования этой намагниченности показали, что магнитное поле Земли неоднократно испытывало инверсии в ходе геологической истории: северный полюс становился южным, а южный - северным. Шкалу магнитных инверсий используют для сопоставления толщ горных пород и определения их возраста.

Для понимания процессов, происходящих в глубинах Земли, важным оказался вопрос теплового поля планеты. В настоящее время выделяют два источника тепла Земли - Солнце и недра Земли. Прогревание Солнцем распространяется на глубину, не превышающую 28-30 м. На некоторой глубине от поверхности располагается пояс

постоянной температуры, равной среднегодовой температуре данной местности. Так, в Москве на глубине 20 м наблюдается постоянная температура, равная +4,2 °С, а в Париже +11,83 °С на глубине 28 м. Ниже пояса постоянной температуры наблюдениями в шахтах, рудниках, буровых скважинах установлено повышение температуры с глубиной, что обусловлено тепловым потоком, поступающим из недр Земли.

Среднее для Земли значение внутреннего теплового потока - около 1,4-1,5 мккал/см² в секунду. Установлено, что тепловой поток зависит от степени подвижности коры и интенсивности эндогенных (внутренних) процессов. В пределах спокойных районов континентов его значение несколько меньше среднего. Существенные колебания теплового потока характерны для гор, на большей части океанического дна тепловой поток почти такой же, как на материковых равнинах, но в пределах так называемых рифтовых долин срединно-океанских хребтов увеличивается иногда в 5-7 раз. Высокие значения теплового потока отмечены во внутренних областях Красного моря.

Источники внутренней тепловой энергии Земли еще недостаточно изучены. Но основными считаются: 1) распад радиоактивных элементов (урана, тория, калия и др.); 2) гравитационная дифференциация с перераспределением материала по плотности в мантии и ядре, сопровождающаяся выделением теплоты. Наблюдения в рудниках, шахтах и буровых скважинах свидетельствуют о повышении температуры с глубиной. Для ее характеристики введен геотермический градиент - нарастание температуры в градусах Цельсия на единицу глубины. Его значения различны в разных местах земного шара. Средним считается примерно 30 °С на 1 км, а крайние значения диапазона различаются более чем в 25 раз, что объясняется различной эндогенной активностью земной коры и различной теплопроводностью горных пород. Наибольший геотермический градиент, равный 150 °С на 1 км, отмечен в штате Орегон (США), а наименьший (6 °С на 1 км) - в Южной Африке. В Кольской скважине на глубине 11 км зарегистрирована температура около 200 °С. Наибольшие значения градиента связывают с подвижными зонами океанов и континентов, а наименьшие — с наиболее устойчивыми и древними участками континентальной коры. Изменение температуры с глубиной определено весьма приблизительно по косвенным данным. Для земной коры расчеты температур основываются главным образом на данных о тепловом потоке, теплопроводности горных пород, температуре лав, но для больших глубин такие данные отсутствуют, и состав мантии и ядра точно неизвестен. Предполагается, что ниже астеносферы температура закономерно повышается при значительном уменьшении геотермического градиента.

На основе представлений о том, что ядро состоит главным образом из железа, были проведены расчеты его плавления на различных границах с учетом существующего там давления. Получено, что на границе нижней мантии и ядра температура плавления железа должна быть 3700 °С, а на границе внешнего и внутреннего ядра - 4300 °С. Из этого делается вывод, что с физической точки зрения температура в ядре составляет 4000-5000 °С. Для сравнения можно указать, что на поверхности Солнца температура чуть меньше 6000 °С.

Коснемся вопроса об агрегатном состоянии вещества Земли. Считается, что вещество литосферы находится в твердом кристаллическом состоянии, так как температура при существующих давлениях здесь не достигает точки плавления. Однако местами и внутри земной коры сейсмологи отмечают наличие отдельных низкоскоростных линз, напоминающих астеносферный слой. По сейсмическим данным, вещество мантии Земли, через которую проходят как продольные, так и поперечные сейсмические волны, находится в эффективно-твердом состоянии. При этом вещество нижней мантии, вероятно, находится в кристаллическом состоянии, поскольку существующее в них давление препятствует плавлению. Только в астеносфере, где скорости сейсмических волн понижены, температура приближается к точке плавления. Предполагается, что вещество в астеносферном слое может быть в аморфном стекловидном состоянии, а часть (менее 10%) даже в расплавленном. Геофизические данные, а также очаги магмы, возникающие

на различных уровнях астеносферного слоя, указывают на неоднородность и расслоенность астеносферы. Что касается состояния вещества в ядре Земли, то большинство исследователей считают, что вещество внешнего ядра находится в жидком состоянии, а внутреннее ядро — в твердом, поскольку переход от мантии к ядру сопровождается резким снижением скорости продольных сейсмических волн, а поперечные волны, распространяющиеся только в твердой среде, в него не входят.

§ 8.2. Вещественный состав и строение земной коры

Химический и минеральный состав Земли

Анализ химического и минерального состава Земли имеет существенный теоретический и практический интерес: он может приоткрыть многие тайны образования и эволюции нашей планеты и дать ключ к более эффективному поиску минеральных ресурсов. О среднем составе Земли судят по веществу, из которого состоят метеориты, так как считается, что именно из этого материала в свое время произошли планеты Солнечной системы, в том числе Земля [12, 24, 27, 35 и др.]. Выделяют каменные (97,7% всех находок), железокремнистые (1,3%) и железные (5,6%) метеориты. Их химический анализ позволяет предположить, что в составе Земли преобладает железо (30-36%), кислород (29-31%), кремний (14-15%) и магний (13-16%). Кроме того, количество серы, никеля, алюминия и кальция измеряется единицами процентов каждый. Все остальные элементы присутствуют в количестве, меньшем 1%.

Наиболее достоверные сведения имеются о химическом составе самой верхней части земной коры материков, доступной для непосредственного наблюдения и анализа [12, 24, 27, 35 и др.]. Первые данные были опубликованы в 1889 г. американским ученым Ф. Кларком, который получил их как средние арифметические имевшихся в его распоряжении 6000 результатов химического анализа различных горных пород. В дальнейшем эти данные уточнялись. В составе земной коры наиболее распространены следующие восемь химических элементов, составляющих в сумме свыше 98% по весу: кислород (46,5%), кремний (25,7%), железо (6,2%), кальций (5,8%), магний (3,2%), натрий (1,8%), калий (1,3%). Еще пять элементов содержатся в земной коре в количестве десятых долей процента: титан (0,52%), углерод (0,46%), водород (0,16%), марганец (0,12%), сера (0,11%). На все остальные элементы приходится около 0,37%.

В 1924 г. норвежский исследователь В.М. Гольдшмит предложил широко используемую и в настоящее время геохимическую классификацию химических элементов, разделив их на четыре группы:

◇ сидерофильная группа химических элементов включает в себя элементы семейства железа, платиновые металлы, а также молибден и рений (всего 11 элементов), по геохимическим особенностям близкие железу;

◇ литофильные элементы составляют группу из 53 элементов, составляющих основную массу минералов земной коры (литосферы): кремний, титан, цирконий, фтор, хлор, алюминий, натрий, калий, магний, кальций и т.д.;

◇ халькофильная группа химических элементов представлена серой, сурьмой, висмутом, мышьяком, селеном, теллуrom и рядом тяжелых цветных металлов (медь и др.) - всего 19 элементов, склонных к образованию природных сульфидов, селенидов, теллуридов, сульфосолей и иногда встречающихся в самородном состоянии (золото, серебро, ртуть, висмут, мышьяк и др.);

◇ к атмофильной группе причислены химические элементы (азот, водород, благородные газы), типичные для земной атмосферы, в составе которой они присутствуют в виде свободных атомов или молекул.

Земную кору слагают разные группы горных пород, различающихся условиями образования и составом. Горные породы представляют собой минеральные агрегаты, т.е. определенное сочетание минералов. *Минералами называют природные химические*

соединения или самородные химические элементы, которые возникли в результате определенных физико-химических процессов, протекающих в земной коре и на ее поверхности. Большинство минералов представляет собой кристаллические тела, и лишь немногие из них - аморфные. Формы природных кристаллов разнообразны и зависят от закономерного расположения в пространстве микрочастиц — атомов, ионов, молекул, образующих структуру кристаллов, или их кристаллическую (пространственную) решетку. Для формирования этой структуры большое значение имеют физико-химические и термодинамические условия. Так, графит — самый мягкий (твердость 1) минерал - образует таблитчатые кристаллы, а алмаз - самый твердый минерал (твердость 10) - имеет самую совершенную кубическую группу симметрии. Такая разница в свойствах связана с разницей в расположении атомов в кристаллической решетке.

В настоящее время известно более 2500 природных минералов, не считая разновидностей, но только немногие (около 50) - породообразующие - участвуют в образовании горных пород, слагающих земную кору. Остальные минералы в горных породах встречаются в виде незначительных примесей и называются акцессорными минералами. Классификация минералов основана на их химическом составе и кристаллической структуре. Главнейшие породообразующие и рудные минералы объединяются в несколько минеральных классов:

- ◇ самородные элементы: самородное золото, серебро, медь, платина, графит, алмаз, сера;

- ◇ сульфиды: пирит, халькопирит, галенит, киноварь;

- ◇ галоидные соединения: галит (поваренная соль), сильвин, карналлит и флюорит;

- ◇ оксиды и гидроксиды: кварц, опал, магнетит (магнитный железняк), гематит, корунд, лимонит, гетит;

- ◇ карбонаты: кальцит (известковый шпат), прозрачная разновидность которого называется исландским шпатом, доломит;

- ◇ фосфаты: апатит, фосфорит;

- ◇ сульфаты: гипс, ангидрит, мирабилит (глауберова соль), барит;

- вольфраматы: вольфрамит;

- ◇ силикаты: кварц, оливин, берилл, пироксены, роговая обманка, слюды, змеевик, тальк, глауконит, полевые шпаты.

Особый класс минералов составляют силикаты. В этот класс входят наиболее распространенные в земной коре (более 90% по весу) породообразующие минералы, чрезвычайно сложные по химическому составу и участвующие в строении всех типов горных пород, в первую очередь магматических и метаморфических. Они составляют примерно треть всех известных минералов. Иногда в силикаты включают кварц. Основу кристаллической решетки силикатов составляет ионная четырехвалентная группировка SiO_4 .

Еще древние рудокопы подметили, что в рудных месторождениях отдельные минералы всегда встречаются совместно. Совместное нахождение минералов обозначается термином «парагенезис» или «парагенез» (греч. «пара» - возле, подле). Для каждого процесса минералообразования характерны свои закономерные сочетания минералов. В качестве примеров парагенезиса можно привести кварц и золото, халькопирит и серебряные руды. Знание парагенезиса минералов облегчает задачу поиска полезных ископаемых по их спутникам. Так, спутник алмаза пироп (разновидность граната) помог в свое время открыть коренные месторождения алмазов в Якутии.

Определенное сочетание минералов, как указывалось выше, образует *горные породы - природные агрегаты минералов более или менее постоянного минералогического и химического состава, образующие самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору*. Форма, размеры и взаимное расположение минеральных зерен обуславливают структуру и текстуру горных пород. Слагающие земную кору горные породы в большинстве своем представляют агрегат многих минералов, реже они состоят

из зерен одного минерала. Минеральный состав, строение и формы залегания горной породы отражают условия ее образования.

По происхождению горные породы разделяют на три группы:

1) *магматические* горные породы, образующиеся в результате внедрения (интрузивные породы) в земную кору или извержения на поверхность магмы (эффузивные породы). Излившаяся на поверхность магма называется лавой. С магматическими связаны многие месторождения металлических полезных ископаемых, а также апатитов, алмазов и т.д.;

2) *осадочные* горные породы, образовавшиеся при осадении разрушенных магматических пород и некоторыми другими путями в океане, морях, озерах и реках. В их составе выделяют обломочные, глинистые, химические и органогенные. Как полезные ископаемые имеют значение следующие осадочные породы: нефть, газ, уголь, торф, бокситы, фосфориты и др.;

3) *метаморфические* породы, т.е. преобразованные и из магматических, и из осадочных. В метаморфических условиях формируются железные, медные, полиметаллические, урановые и другие руды, а также графит, драгоценные камни, огнеупоры и т.п. Иногда из группы метаморфических выделяют как самостоятельный класс метасоматические горные породы, образовавшиеся в результате метасоматизма - процесса замещения одних минералов другими с существенными изменениями химического состава горной породы, но с сохранением ее объема и твердого состояния при воздействии растворов высокой химической активности. При этом происходит миграция химических элементов.

Типы земной коры

Из осадочных, магматических и метаморфических горных пород, залегающих выше границы Мохоро, состоит вся земная кора. Соотношение различных типов горных пород в составе коры изменяется в зависимости от рельефа Земли и геологической структуры. В пределах континента выделяются равнины и горные области, в океанах — подводные окраины материков (шельф до глубины около 200 м, континентальный склон с подножием до глубин 2,5-3,0 км), ложе (с преобладающими глубинами 4—6 км), глубоководные желоба (до 10-11 км и более) и срединно-океанские хребты.

Обычно выделяют четыре главных типа земной коры: континентальный, океанский, субконтинентальный и субокеанский [10, 12, 30, 35].

Континентальный тип земной коры имеет различную мощность (толщину): в пределах континентальных равнин — платформ - 35-40 км, в молодых горных сооружениях - 55-70 км. Максимальная мощность (около 70-75 км) установлена под Гималаями и Андами. В строении континентальной коры участвуют две главные части: осадочная, состоящая из осадочных горных пород; консолидированная, сложенная магматическими и метаморфическими породами, которая обычно разделяется на гранитный (гранитоидный) и базальтовый (гранулитобазальтовый) слои. Для всех слоев земной коры характерна переменная мощность. Так, мощность осадочного слоя колеблется от нуля (на щитах - Балтийском, Алданском и др.) до 5 км в пределах континентальных равнин и только в крупных прогибах консолидированной коры увеличивается до 8-10 км и более. В орогенных областях в предгорных и межгорных прогибах этот слой достигает 15-20 км. Мощность гранитного слоя изменяется от 10 до 25 км в зависимости от общей мощности земной коры, на равнинах она составляет примерно 15-20 км, в горных районах - 20-25 км. Базальтовый слой также обладает изменчивой мощностью - от 10-15 до 20 км в пределах платформ и до 25-35 км в некоторых горных сооружениях.

Океанский тип земной коры, характерный для ложа Мирового океана, резко отличается от континентального как по мощности, так и по составу. В нем отсутствует гранитный слой, а мощность колеблется от 5 до 12 км, в среднем составляя 6-7 км. Состоит он из трех слоев: 1) первый (верхний) слой рыхлых морских осадков имеет мощность от первых сотен метров до 1 км, реже больше; 2) второй слой имеет мощность от 1 до 1,5-3 км. По

данным бурения, слой представлен базальтовыми лавами с подчиненными прослоями кремнистых и карбонатных пород; 3) третий слой мощностью 3,5-5 км пока не пройден бурением.

Субокеанский тип земной коры характерен для глубоководных котловин окраинных и внутренних морей (южная котловина Каспийского, Черное, Средиземное, Охотское и другие моря). Особенность строения этого типа земной коры — большая мощность осадочных пород (до 4—10 км, местами до 20 км). Подобное строение коры характерно и для некоторых глубоких впадин на суше, например для центральной части Прикаспийской низменности (впадины).

Субконтинентальный тип земной коры характерен для островных дуг (Алеутской, Курильской и др.) и окраин материков. По строению он близок к материковому типу, но имеет меньшую мощность (20—30 км). Особенностью субконтинентальной коры островных дуг является нечеткость разделения слоев консолидированной коры.

Последние геофизические данные и материалы уникальной сверхглубокой Кольской скважины глубиной свыше 12 км позволяют говорить о гораздо более сложной структуре земной коры и иначе подойти к истолкованию строения земной коры, стимулируя создание ее новых моделей. Например, в модели Н.И. Павленковой консолидированная часть континентальной коры (ниже осадочного слоя) в отличие от описанной двухслойной модели разделяется на три слоя. Более того, представленная двухслойная модель консолидированной части континентальной коры с выделением гранитного и базальтового слоев оспаривается многими сейсмологами. Геофизические исследования свидетельствуют о полной неопределенности в положении границы между этими слоями. Это подтвердили итоги бурения Кольской сверхглубокой скважины. По предварительным сейсмическим данным, эта скважина должна была вскрыть базальтовый слой на глубине около 7 км, однако этого не произошло, оказалось, что сейсмическая граница проходит внутри однообразной толщи метаморфических пород.

Это еще раз подчеркивает, что строение земной коры и Земли в целом отличается большой сложностью и разнообразием вследствие различной истории ее формирования и различного характера протекающих в ней процессов. Многие еще остаются неясным, особенно в интерпретации вещественного состава нижних слоев континентальной коры.

§ 8.3. Гидросфера и атмосфера Земли

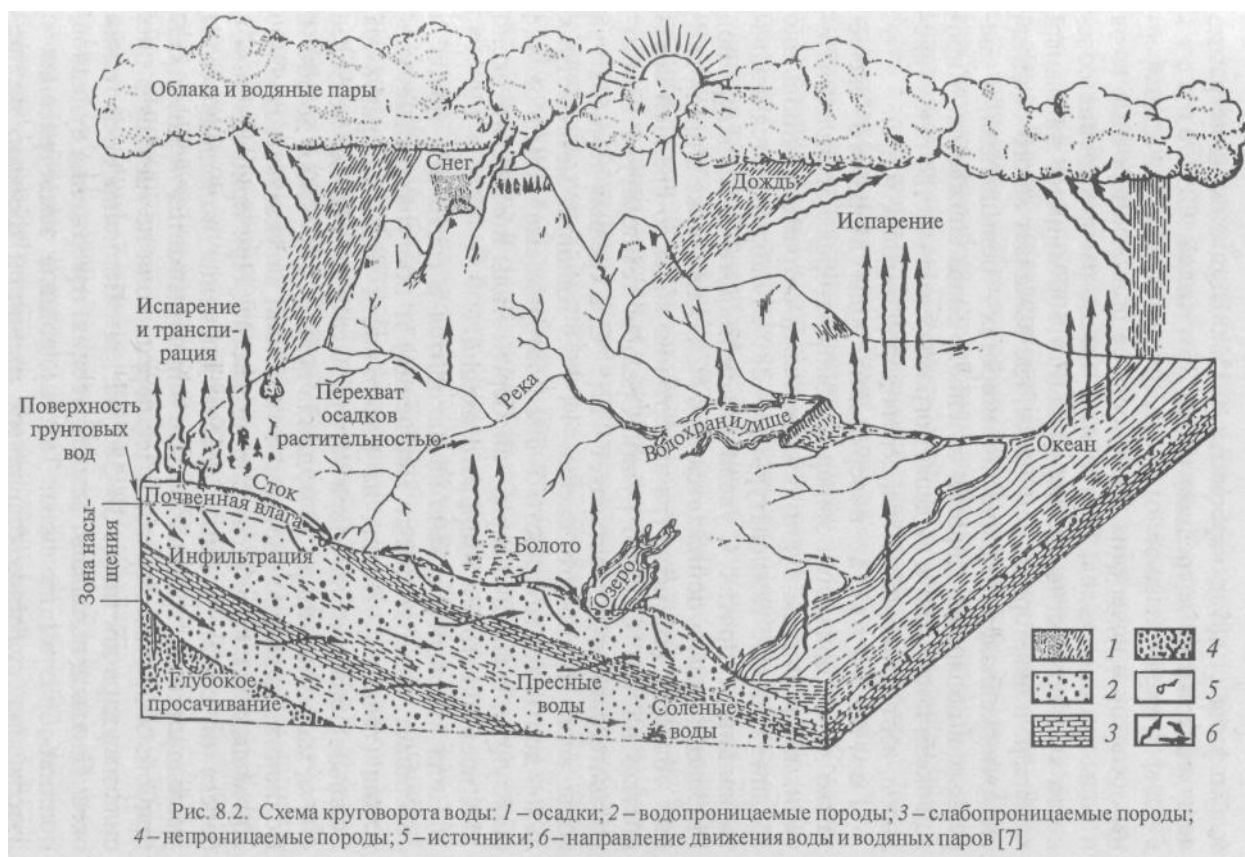
Водная оболочка Земли

Гидросфера — водная оболочка Земли, включающая в себя всю химически не связанную воду. Вода присутствует на Земле в трех фазовых состояниях: твердом, жидком и газообразном. Из почти 1,5 млрд км³ общего объема вод гидросферы около 94% приходится на Мировой океан, 4% — на подземные воды (большую их часть представляют глубинные рассолы), 1,6% - на ледники и постоянные снега, около 0,25% - на поверхностные воды суши (реки, озера, болота), большая часть которых расположена в озерах [1, 7, 14, 16, 19]. Вода присутствует в атмосфере и живых организмах.

Единство гидросферы обусловлено *круговоротом воды* - процессом ее непрерывного перемещения под воздействием солнечной энергии и силы тяжести, охватывающим гидросферу, атмосферу, литосферу и живые организмы (рис. 8.2). Круговорот воды складывается из испарения с поверхности океана, переноса влаги в атмосфере, выпадения осадков на океан и сушу, их просачивания и поверхностного и подземного стока с суши в океан. В процессе мирового круговорота воды происходит постепенное ее обновление во всех частях гидросферы. Причем подземные воды обновляются за сотни, тысячи и миллионы лет; полярные ледники - за 8-15 тыс. лет; воды Мирового океана — за 2,5-3 тыс. лет; замкнутые, бессточные озера - за 200-300 лет; проточные - за несколько лет; реки - за 11—20 суток; водяной пар атмосферы — за 8 суток; вода в организмах - за несколько часов [1, 7, 14, 16, 19]. Известно, что, чем медленнее водообмен, тем выше минерализация

(соленость) воды в элементе гидросферы. Именно поэтому воды подземной гидросферы наиболее высокоминерализованы, а речные воды служат началом почти всех источников пресных вод.

Важным элементом гидросферы является *Мировой океан*, средняя глубина которого 3700 м, наибольшая - 10 922 м (Марианский желоб). В морской воде растворены в разных количествах почти все известные на Земле вещества. Основная часть растворенных в морской воде солей - хлориды (88,7%) и сульфаты (10,8%), карбонаты (0,3%).



В каждом килограмме воды содержится в среднем около 35 г солей. Соленость воды в океане зависит от соотношения количества атмосферных осадков и испарения. Соленость ее понижают речные воды и воды тающих льдов. В открытом океане распределение солености в поверхностных слоях воды (до 1500 м) имеет зональный характер: в экваториальном поясе, где выпадает много осадков, она пониженная, в тропических широтах — повышенная, в умеренных и полярных широтах соленость снова снижается. Мировой океан поглощает и выделяет огромное количество газов (кислород, азот, углекислый газ, сероводород, аммиак и др.).

Температура поверхности воды Мирового океана также характеризуется зональностью, которая нарушается течениями, влиянием суши, постоянными ветрами. Наибольшие средние годовые температуры (27-28 °С) наблюдаются в экваториальных широтах. С увеличением широты температура вод Мирового океана понижается до 0 °С и даже ниже в приполярных областях (температура замерзания воды со средней соленостью на 1,8 °С ниже нуля). Средняя температура поверхностного слоя воды составляет +17,5 °С, а средняя температура воды всего Мирового океана +4 °С. Толщина многолетних льдов достигает мощности 3-5 м. Материковые льды в океане образуют плавающие горы - айсберги. Льды покрывают около 15% всей акватории Мирового океана.

Вода Мирового океана не находится в состоянии покоя, а совершает колебательные (волнения) и поступательные движения (течения). Волны на поверхности океана образуются главным образом благодаря ветру; высота их обычно не более 4-6 м,

максимально до 30 м; длина волн от 100-250 м до 500 м. Волнение, вызванное ветром, с глубиной затухает: на глубине 200 м даже сильное волнение незаметно. При приближении к берегу от трения о дно скорость движения подошвы волны уменьшается, и гребень волны опрокидывается - возникает прибой. У крутых берегов, где энергия волн не гасится о дно, сила их удара достигает 30-38 т на 1 м². Волнения всей толщи океанских вод вызывают землетрясения, извержения вулканов, приливообразующие силы. Так, подводные землетрясения и извержения вулканов становятся причиной цунами, распространяющихся со скоростью более 700 км/ч. В открытом океане длина цунами оценивается в 200-300 км при высоте около 1 м, что обычно незаметно для судов. У берегов высота волны цунами увеличивается до 30 м, что вызывает катастрофические разрушения.

Под действием сил притяжения Луны и Солнца возникают приливы и отливы. Особенно заметны приливы, вызываемые Луной. Вследствие вращения Земли приливные волны перемещаются навстречу ее движению - с востока на запад. Там, где проходит гребень приливной волны, возникает прилив, сменяющийся отливом. В зависимости от условий приливы могут быть полусуточные (два прилива и два отлива за лунные сутки), суточные (один прилив и один отлив за сутки) и смешанные (суточные и полусуточные приливы сменяют друг друга). Солнечные приливы в 2,17 раза меньше лунных. Лунные и солнечные приливы могут слагаться и вычитаться. Величина и характер морских приливов зависят от взаимного положения Земли, Луны и Солнца, от географической широты, глубины моря, формы береговой линии. В открытом океане высота прилива не более 1 м, в узких заливах - до 18 м. Приливная волна проникает в некоторые реки (Амазонка, Темза) и, быстро перемещаясь вверх по течению, образует водяной вал высотой до 5 м.

Течения в океане вызываются ветром, перепадом высоты уровня воды и плотности. Главная причина поверхностных течений - ветер. В более холодных водах отмечаются теплые течения, в менее холодных — холодные. Теплые течения направляются из более низких широт в сторону более высоких, холодные — наоборот. На направление течения влияет вращение Земли, объясняющее отклонение их вправо в Северном полушарии и влево - в Южном. Системы поверхностных течений в океанах зависят от направления господствующих ветров, от положения и конфигурации океанов. В тропических широтах устойчивые воздушные течения над океанами (пассаты) вызывают северное и южное пассатные течения, нагоняющие воду к восточным берегам материков. Между ними возникает межпассатное противотечение. Вдоль восточных берегов на север и на юг в умеренные широты уходят теплые течения. В умеренных широтах западные ветры вызывают течения, пересекающие океаны с запада на восток. Причины течений на глубине - разная плотность воды, которая может быть вызвана давлением массы воды сверху (например, в местах нагона или сгона ее ветром), изменениями температуры и солености. Изменения плотности воды — причина ее вертикальных перемещений: опускание холодной (или более соленой) и подъем теплой (или менее соленой).

С перемещением воды связаны снабжение глубин кислородом и другими газами из атмосферы и вынос питательных для организмов веществ с глубин в поверхностные слои. Места интенсивного перемешивания воды наиболее богаты жизнью. В Мировом океане обитает около 160 тыс. видов животных и более 10 тыс. видов водорослей. Выделяют три группы морских организмов: 1) планктон - пассивно перемещающиеся одноклеточные водоросли и животные, рачки, медузы и др.; 2) нектон- активно передвигающиеся животные (рыбы, китообразные, черепахи, головоногие моллюски и др.); 3) бентос — организмы, живущие на дне (бурые и красные водоросли, моллюски, ракообразные и др.). Распределение жизни в поверхностном слое воды имеет зональный характер.

Значительную роль в существовании жизни на Земле играют воды суши, к которым относят подземные воды, реки, озера, болота, ледники.

Подземные воды находятся в толще горных пород верхней части земной коры. Основная их масса образуется вследствие просачивания с поверхности дождевых, талых и

речных вод. Глубина залегания, направление и интенсивность движения подземных вод зависят от водопроницаемости горных пород. По условиям залегания подземные воды подразделяют на почвенные; грунтовые, залегающие на первом от поверхности постоянном водоупорном слое; межпластовые, находящиеся между двумя водоупорными пластами. Грунтовые воды питают реки и озера.

Реки - постоянные водные потоки на поверхности суши. Главная река с притоками образует речную систему. Площадь, с которой река собирает поверхностные и подземные воды, называется речным бассейном. Бассейны соседних рек отделяются водоразделами. Скорость течения реки находится в прямой зависимости от уклона русла - отношения разности высоты участка к его длине. У равнинных рек скорость течения редко превышает 1 м/с, а у горных рек — обычно более 5 м/с. Важнейшей характеристикой рек является их питание — снеговое, дождевое, ледниковое и подземное. Большинство рек имеет смешанное питание. Дождевое питание характерно для рек экваториальных, тропических и муссонных областей. Водами тающего снега питаются реки умеренного климата с холодными, снежными зимами. Ледниковое питание получают реки, начинающиеся в высоких, покрытых ледниками горах. Подземные воды питают многие реки, благодаря чему они не пересыхают летом и не иссыкают подо льдом. От питания в значительной мере зависит режим рек - изменение расхода воды по сезонам года, колебание ее уровня и изменение температуры. Самая многоводная в мире река — Амазонка ($220\,000\text{ м}^3/\text{с}$ в год). В нашей стране самая многоводная река - Енисей ($19\,800\text{ м}^3/\text{с}$ в год).

Озера — водоемы замедленного водообмена. Они занимают около 1,8% поверхности суши. Самое большое из них - Каспийское море, самое глубокое — Байкал. Озера могут быть сточными (из них вытекают реки) и бессточными (лишенными стока); последние часто бывают солеными. В озерах с очень высокой минерализацией соли могут выпадать в осадок (самосадочные озера Эльтон и Баскунчак). В распространении озер по земной поверхности наблюдается зональность. Особенно много озер в тундре и лесной зоне. В зонах с недостаточным увлажнением возникают в основном временные водоемы.

Болота - избыточно увлажненные участки суши с влаголюбивой растительностью и слоем торфа не менее 0,3 м (с меньшим слоем - заболоченные земли). Болота образуются вследствие зарастания озер или заболачивания суши и подразделяются на низинные, питающиеся в основном грунтовыми водами и имеющие вогнутую или плоскую поверхность, переходные и верховые, основное питание которых - атмосферные осадки, поверхность их выпуклая. Общая площадь, занимаемая болотами, составляет около 2% площади суши.

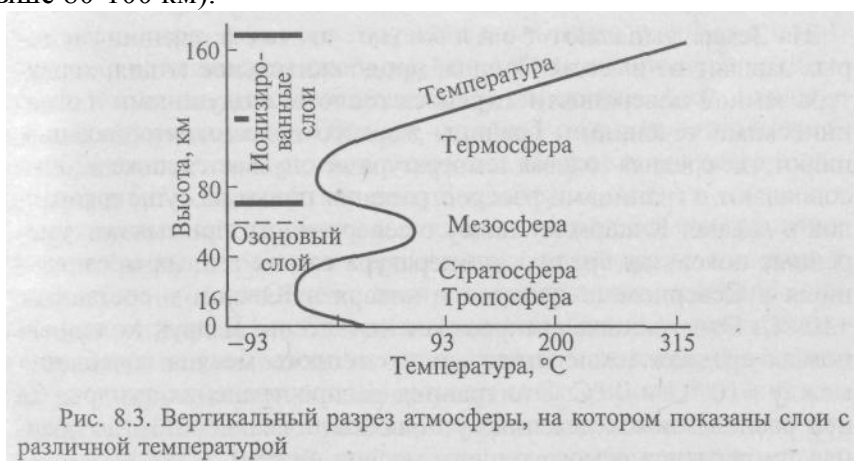
Ледники - движущиеся массы льда, возникшие на суше в результате накопления и постепенного преобразования твердых атмосферных осадков. Они образуются там, где в течение года твердых осадков выпадает больше, чем успевает растаять и испариться. Граница, выше которой возможно накопление снега, называется снеговой линией. В полярных областях она расположена низко (в Антарктиде - на уровне моря), на экваторе - на высоте около 5 км, а в тропических широтах - выше 6 км. Оледенение бывает двух типов: покровное (Антарктида, Гренландия) и горное (Аляска, Гималаи, Гиндукуш, Памир, Тянь-Шань). Ледник имеет области питания (где происходит накопление льда) и стока (где его масса уменьшается за счет таяния, испарения, механического откалывания). Накопившись, лед начинает двигаться под действием силы тяжести. Ледник может наступать и отступать. Сейчас ледники занимают около 11 % всей площади суши, в эпоху максимального оледенения они покрывали около 30% ее площади. В ледниках сосредоточено почти 70% запасов пресной воды на Земле.

Воздушная оболочка Земли

Атмосфера — это воздушная оболочка Земли, которая состоит из смеси газов (воздуха), водяного пара и примесей (аэрозолей). Воздух у земной поверхности содержит (по объему) более 78% азота N_2 , около 21% кислорода O_2 и менее 1% остальных газов, в

том числе 0,93% аргона Ar и 0,03% диоксида углерода CO_2 [11, 19, 32]. Состав его почти везде одинаков и благодаря перемешиванию сохраняется до высоты 90-100 км, а выше преобладают более легкие газы. Вследствие фотохимических реакций на высоте 20-30 км образуется слой повышенного содержания озона O_3 -озоновый экран, который задерживает губительную для живых организмов ультрафиолетовую радиацию. Количество водяного пара с удалением от поверхности быстро падает. На высоте 2 км его в 2 раза меньше, чем у поверхности, а выше 70-80 км он практически отсутствует. В атмосфере присутствуют твердые и жидкие примеси (пыль, сажа, пепел, кристаллики льда и морской соли, капельки воды, микроорганизмы, пыльца растений и пр.).

В соответствии с изменением температуры с высотой выделяют: тропосферу (до 15-17 км в тропиках и до 8-9 км над полюсами), стратосферу (до 50-55 км), мезосферу (до 80—82 км) и термосферу, постепенно переходящую в межпланетное пространство. В тропосфере и мезосфере температура с высотой понижается, а в стратосфере и термосфере, наоборот, повышается (рис. 8.3). По степени ионизации в атмосфере выделяют нейтросферу (до высоты 80-100 км) и сильно ионизированный слой -ионосферу (выше 80-100 км).



Тропосфера содержит 4/5 всей массы атмосферного воздуха. Здесь образуются облака и выпадают осадки. Атмосфера получает наибольшее количество теплоты от отраженной земной поверхностью солнечной радиации. Поэтому в тропосфере температура воздуха с высотой обычно понижается. Но если земная поверхность отдает воздуху больше теплоты, чем за то же время получает, она охлаждается, от нее охлаждается и воздух над ней, и в этом случае температура воздуха с высотой повышается. Это можно наблюдать летом в ночное время, зимой - над снежной поверхностью.

Средняя температура воздуха в нижнем двухметровом слое для всей Земли составляет $+14\text{ }^\circ\text{C}$. Температура воздуха изменяется в течение суток и в течение года. В суточном ее ходе наблюдаются один максимум (после полудня) и один минимум (после восхода Солнца). От экватора к полюсам суточные амплитуды колебания температуры убывают; над сушей они всегда больше, чем над океаном. Амплитуды годовых колебаний температуры воздуха возрастают с увеличением широты; на экваторе они меньше суточных ($1\text{—}2\text{ }^\circ\text{C}$ над океаном и до $5\text{ }^\circ\text{C}$ над сушей), в умеренных широтах от $10\text{—}15\text{ }^\circ\text{C}$ над океаном до $60\text{ }^\circ\text{C}$ и более над сушей; в полярных широтах годовые колебания температуры достигают $30\text{—}40\text{ }^\circ\text{C}$.

На Земле выделяют тепловые пояса, границы которых зависят от высоты Солнца, продолжительности дня, характера земной поверхности, переноса теплоты воздушными и океаническими течениями. Границы жаркого пояса экваториальных широт, где средняя годовая температура не опускается ниже $+20\text{ }^\circ\text{C}$, совпадают с границами распространения пальм на суше и кораллов в океане. К жаркому поясу с севера и юга примыкают умеренные пояса, где средняя температура самых теплых месяцев - июля в Северном полушарии и января в Южном - составляет $+10\text{ }^\circ\text{C}$. Это граница распространения лесов. В двух холодных поясах средняя температура самого теплого месяца колеблется между $+10$

°С и 0 °С. Это граница распространения тундры. За ней располагаются лежащие у полюсов пояса мороза, где средняя температура самого теплого месяца ниже 0 °С.

Давление атмосферы на подстилающую поверхность составляет в среднем 1,033 кг на 1 см² (больше 10 т на 1 м²). Давление измеряется в миллиметрах ртутного столба, миллибарах и гектопаскалях (0,75 мм рт. ст. = 1 мб = 1 гПа). Максимальное атмосферное давление 816 мм рт. ст. зарегистрировано зимой в Туруханске, а минимальное - 641 мм рт. ст. — в урагане «Нэнси» над Тихим океаном. С высотой давление понижается: на высоте 5 км оно в 2 раза ниже нормального, на высоте 20 км - в 18 раз. Изменение давления объясняется перемещением воздуха вследствие его нагревания и охлаждения. Нагреваясь от поверхности, воздух расширяется и устремляется вверх. Достигнув высоты, на которой его плотность оказывается больше плотности окружающего воздуха, он растекается в стороны. Поэтому давление на теплую поверхность понижается, а на соседние участки - увеличивается.

В экваториальных широтах давление всегда пониженное, так как нагревающийся от поверхности воздух поднимается и уходит в сторону тропических широт, создавая там область повышенного давления. Над холодной поверхностью в Арктике и Антарктиде давление повышенное. Его создает воздух, приходящий из умеренных широт на место уплотнившегося холодного воздуха. Отток воздуха в полярные широты - причина понижения давления в умеренных широтах. В результате формируются пояса пониженного (экваториальный и умеренные) и повышенного (тропические и полярные) давления.

Воздух перемещается в горизонтальном направлении (ветер). Средняя многолетняя скорость ветра у земной поверхности 4—9 м/с. Максимальная наблюдается у побережья Антарктиды -22 м/с с порывами до 100 м/с. С высотой скорость ветра возрастает, достигая сотен метров в секунду. Направление ветра определяется той стороной горизонта, с которой он дует, и зависит от распределения давления и отклоняющего действия вращения Земли. Воздух стремится перемещаться от большего давления к меньшему по кратчайшему пути, отклоняясь влево в Южном полушарии и вправо - в Северном (рис. 8.4). Схема поясов господствующих ветров осложняется влиянием материков и океанов, формированием сезонных минимумов и максимумов давления над сушей. На границе материков и океанов ветры зимой дуют с материка на океан, летом - с океана на материк (муссонные ветры). В зависимости от характера рельефа, растительности, водоемов возникают местные ветры (бризы, фен, бора и т.д.).

В тропосфере постоянно образуются вихри из-за различного атмосферного давления и отклоняющего действия вращения Земли. В замкнутой области пониженного давления воздух устремляется к центру, отклоняясь вправо в Северном полушарии и влево - в Южном. В центре он поднимается и растекается в стороны, тоже отклоняясь. Образуется восходящий вихрь - циклон, а у поверхности формируется область пониженного давления с циклической системой ветров (от периферии к центру).

В замкнутой области повышенного давления формируется нисходящий вихрь - антициклон, а у поверхности - область повышенного давления с антициклонической системой ветров (от центра к периферии). Циклоны и антициклоны особенно часто возникают в умеренных широтах. Диаметр их достигает 3—4 тыс. км при высоте до 18-20 км. Циклоны, возникающие в тропических широтах (тайфуны, ураганы), отличаются большей скоростью ветра. Разрушительной силой обладают сравнительно небольшие вихри (смерчи и торнадо).

Вода в атмосфере



Рис. 8.4. Пояса давления и господствующие ветры [19]

содержится в виде пара, капелек и кристалликов. Процентное отношение количества водяного пара, содержащегося в воздухе, к тому количеству, которое может содержаться при данной температуре, именуется относительной влажностью. Чем выше температура воздуха, тем больше водяного пара он может содержать. Водяной пар поступает в атмосферу в результате испарения с поверхности. При понижении температуры в атмосфере может начаться конденсация, которая проявляется в виде росы, инея, тумана, облаков. Различают облака перистые (облака верхнего яруса — выше 6000 м; они полупрозрачные, ледяные; осадки из них не выпадают); слоистые (среднего яруса - от 2000 до 6000 м и нижнего - менее 2000 м), которые в основном и дают осадки, обычно длительные, обложные; кучевые (могут образовываться в нижнем ярусе и достигать очень большой высоты; с ними связаны ливни, град, грозы). Наибольшая облачность наблюдается в областях пониженного давления; наименьшая - в областях повышенного давления. Над океаном она больше, чем над сушей, так как здесь в воздухе больше влаги. Абсолютный максимум облачности - над Северной Атлантикой, абсолютный минимум - над Антарктидой и тропическими пустынями. Облака задерживают солнечную радиацию, идущую к земной поверхности, отражают и рассеивают ее, а также задерживают тепловое излучение земной поверхности.

Выпадающие осадки могут быть жидкими (дождь) и твердыми (снег, крупа, град). Осадки измеряются слоем воды (в миллиметрах), который образуется, если выпавшая вода не стекает и не испаряется. В среднем за год на Землю выпадает 1130 мм осадков, из них почти половина - в экваториальных широтах. В направлении от экваториальных широт к тропическим количество осадков убывает. В умеренных широтах их количество снова увеличивается, в полярных - убывает. Над океаном осадков выпадает больше, чем над сушей, над холодными течениями осадков меньше, чем над теплыми. На характер распределения осадков на суше влияют удаленность от океана и рельеф земной поверхности. Больше всего осадков на наветренных склонах гор, с высотой их количество убывает, причем выше снеговой линии твердые осадки не успевают таять и накапливаются в виде снежников и ледников. Благодаря малой теплопроводности снег предохраняет почву от промерзания, растения — от гибели; в нем накапливаются запасы воды, расходуемые летом. Талые воды пополняют запасы грунтовых вод, озер и рек. Абсолютный максимум осадков зарегистрирован в Черапунджи (Индия) - 26 461 мм/год, абсолютный минимум - в пустынях Атакама и Ливийская, где осадки выпадают не каждый год. Но только по количеству выпадающих осадков нельзя судить об обеспеченности территории влагой - увлажнении. Необходимо учитывать возможное испарение (испаряемость), которое зависит от количества солнечной радиации: чем радиации больше, тем больше может испариться влаги. По степени увлажнения выделяются влажные (гумидные) и сухие (аридные) области.

Атмосфера Земли представляет собой взаимосвязанную систему движущихся объемов воздуха. Большие объемы воздуха в тропосфере, обладающие примерно одинаковыми свойствами, называются воздушной массой. Для нее характерно общее направление перемещения. Свои свойства (температуру, влажность, запыленность) воздушная масса приобретает, соприкасаясь с подстилающей поверхностью, над которой задерживается. Выделяются главные (зональные) типы воздушных масс, формирующиеся в широтных поясах с разным атмосферным давлением: экваториальная - теплая и влажная; две тропические - теплые и над материками сухие; две воздушные массы умеренных широт - менее теплые и более влажные, чем тропические, но более теплые и влажные, чем арктическая и антарктическая; арктическая и антарктическая - холодные и сухие. Кроме поясов постоянного пребывания воздушных масс возникают пояса, в которых зимой господствует одна воздушная масса, летом - другая. Например, умеренный воздух формируется из тропического и арктического (антарктического).

Все воздушные массы связаны между собой общей циркуляцией в тропосфере. Внутри главных (зональных) типов воздушных масс существуют континентальный (материковый)

и океанический (морской) подтипы. Главными факторами циркуляции выступают лучистая энергия Солнца, вращение Земли вокруг оси и характер земной поверхности.

Для анализа процессов и явлений разного пространственно-временного масштаба, происходящих в атмосфере, существенны такие понятия, как погода и климат. *Погода* — состояние атмосферы в данной местности в данный момент или за какой-то промежуток времени (сутки, неделю, месяц). Погода характеризуется элементами (температура воздуха, влажность, давление) и явлениями (ветер, облака, атмосферные осадки). Иногда явления погоды носят необычайный или катастрофический характер: ураганы, грозы, ливни, засухи. Главные причины изменения погоды - изменение количества солнечного тепла, перемещение воздушных масс, атмосферных фронтов, циклонов и антициклонов.

Климат — это многолетний режим погоды, характерный для какой-либо местности. Он проявляется в закономерной смене всех наблюдаемых в этой местности погод. Как и погода, климат зависит от количества солнечной радиации, от перемещения воздушных масс, атмосферных фронтов, циклонов и антициклонов и от свойств подстилающей поверхности. Основные показатели климата: температура воздуха (средняя годовая, января и июля), преобладающее направление ветров, годовое количество и режим осадков.

В соответствии с тепловыми поясами и поясами господства зональных типов воздушных масс выделяют климатические пояса. Основных климатических поясов семь: экваториальный, два тропических, два умеренных, два полярных (арктический и антарктический). Между основными расположены переходные климатические пояса: два субэкваториальных, два субтропических и два субполярных. Они различаются сменой воздушных масс: зимой господствует воздушная масса основного пояса, соседнего со стороны полюса, летом — соседнего со стороны экватора. Выделяют материковые и морские климаты: они различаются годовыми амплитудами колебания температуры и количеством осадков. На границе материков и океанов, там, где ветры по сезонам изменяют направление почти на противоположное (зимой - с суши, летом - с океана), господствует муссонный климат, характеризуемый теплым, дождливым летом и холодной, сухой зимой (на востоке Евразии, на границе с Тихим океаном). На материках на климат влияет рельеф. В горах чем выше, тем холоднее, даже на экваторе вершины гор покрыты снегом. В поднимающемся по склонам воздухе количество осадков сначала увеличивается, а затем начинает убывать, т.е. для гор характерна высотная поясность климата. Однако на любой высоте климат зависит от широты местности, поскольку продолжительность дня (солнечная радиация) остается такой же, как в климатическом поясе у подножия.

Климат изменяется с течением времени [2, 17, 29, 32], и на то существует много причин. Так, изменение угла наклона земной оси к орбите вызывает изменение положения границ тепловых, а значит, и климатических поясов. Изменение площадей, расположения материков и океанов влечет за собой значительные изменения климатов на всей Земле. На климат влияют сильные извержения вулканов, выбрасывающие в атмосферу огромное количество газов, пыли, пепла и водяного пара. В последние десятилетия растет антропогенное воздействие на климат, связанное с деятельностью людей: увеличение содержания CO_2 , запыленность, выбросы теплоты и т.д. влияют на состояние атмосферы; сведение лесов, создание водохранилищ, орошение и осушение территорий, сокращение площадей, покрытых льдом, как на суше, так и в океане, изменяя земную поверхность, также вызывают изменения климата.

§ 8.4. Геодинамические процессы

Эндогенные (внутренние) процессы

Облик нашей планеты не является чем-то застывшим, раз и навсегда сформировавшимся. Благодаря разнообразным геодинамическим процессам происходит постоянное видоизменение земной коры и ее поверхности, создаются условия для

возникновения новых горных пород и разрушения уже существующих. Эти процессы делят на две большие группы — эндогенные (внутренние) и экзогенные (внешние). Геодинамические процессы тесно связаны в пространстве и во времени, а само их взаимодействие имеет сложный и во многом противоречивый характер.

Рассмотрим основные геодинамические процессы и некоторые результаты их взаимодействия. *Эндогенными называют процессы, вызванные преимущественно внутренними силами Земли и происходящие в ее недрах.* Они обусловлены энергией, выделяемой при развитии вещества Земли, действием силы тяжести и сил, возникающих при вращении Земли, а проявляются в виде тектонических движений (медленные поднятия и опускания земной коры, складчатости, образование крупных элементов рельефа, землетрясения), процессов магматизма (выплавления, перемещения и застывания магмы), метаморфизма горных пород и формирования месторождений полезных ископаемых [1, 10, 12, 22, 35].

Тектонические движения приводят к деформациям (нарушениям) верхних частей земной коры. Выделяют разрывные нарушения, сопровождаемые перемещением разорванных частей геологических тел друг относительно друга, и складчатые нарушения, когда происходит изменение залегания слоев без изменения сплошности горных пород, т.е. возникают изгибы пластов - складки; процесс их образования называют складкообразованием или складчатостью.

Тектонические движения можно разделить на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальные движения играют значительную роль в формировании литосферы и рельефа земной поверхности и находятся в фокусе внимания тектоники литосферных плит, которая в настоящее время стала, пожалуй, наиболее универсальной концепцией, объясняющей многие явления на Земле.

В основе этой концепции лежат следующие положения [1, 28-30, 35]. Верхняя часть Земли разделяется на две оболочки - жесткую и хрупкую литосферу и более пластичную и подвижную астеносферу. Литосфера подразделяется на некоторое количество плит (рис. 8.5). Основанием для их разграничения служит размещение очагов землетрясений, так как сейсмическая энергия в основном выделяется на границах между плитами. В большинстве случаев, хотя и не всегда, эти границы четко выражены.



Рис. 8.5. Литосферные плиты Земли. Малые плиты и микроплиты: Х – Хуан-де-Фука; Ко – Кокос; К – Карибская; А – Аравийская; Кт – Китайская; И – Индокитайская; О – Охотская; Ф – Филиппинская; 1 – дивергентные границы (оси спрединга); 2 – конвергентные границы (зоны субдукции, реже – зоны коллизии); 3 – трансформные разломы и прочие границы; 4 – векторы «абсолютных» движений литосферных плит [30]. Максимальная скорость около 10 см/год

Наблюдают три рода взаимных перемещений плит: О дивергентные границы, вдоль которых происходит раздвижение плит (спрединг);

◇ конвергентные границы, вдоль которых происходит сближение плит, обычно выражающееся в пододвигании одной плиты под другую. При этом возможны: субдукция, когда океанская плита пододвигается под континентальную (образуется аккреционная призма, наращивающая континентальную, окраинную или островную дугу); обдукция, когда океанская плита (кора, литосфера) надвигается на континентальную; коллизия, когда сталкиваются две континентальные плиты (обычно с поддвигом одной под другую), которая порождает сложную коровую структуру и горообразование;

◇ трансформные границы, вдоль которых происходит горизонтальное скольжение одной плиты относительно другой по плоскости вертикального трансформного разлома.

В природе преобладают границы первых двух типов. Причем дивергентные границы приурочены к осевым зонам срединно-океанических хребтов и межконтинентальным рифтам (крупным линейным тектоническим структурам земной коры, образовавшимся главным образом при горизонтальном растяжении коры), а конвергентные - к осевым зонам глубоководных желобов, сопряженных с островными дугами. На дивергентных границах происходит непрерывное рождение новой океанической коры, которая перемещается астеносферным течением в сторону зон субдукции, где она поглощается на глубине. Считается, что объем поглощаемой в зонах субдукции океанической коры равен объему коры, образующейся в зонах спрединга. Благодаря этому радиус и объем Земли остаются более или менее постоянными.

Основной причиной горизонтального движения плит считается конвекция в мантии, вызываемая ее разогревом. При этом срединно-океанические хребты с их рифтами располагаются над восходящими ветвями течений, а глубоководные желоба - над нисходящими. Новообразованная океаническая литосфера движется к желобам, постепенно охлаждаясь, уплотняясь и увеличивая свою мощность за счет астеносферы. Результатом этого являются нисходящие вертикальные движения. В конечном счете океанская литосфера становится тяжелее подстилающей астеносферы и погружается в нее вдоль океанских склонов глубоководных желобов.

Вертикальные движения имеют еще более разнообразные причины. Поднятия могут быть обусловлены подъемом более легких выплавов из астеносферы (который одновременно служит причиной расходящихся горизонтальных движений), а также разогревом литосферы над этими восходящими горячими мантийными струями. Опускания в океанах связаны с охлаждением литосферы по мере ее удаления от осей спрединга и максимальны в зонах глубоководных желобов. В зонах, выходящих на поверхность вдоль осей желобов, опускание вновь сменяется поднятием вследствие скупивания, нагромождения осадков и накопления продуктов вулканической деятельности. Процессы регионального метаморфизма и гранитообразования ведут здесь к увеличению мощности легкой континентальной коры, а это в свою очередь приводит к ее всплыванию. С данным процессом связано образование первичных горных сооружений. Вторичные горные сооружения формируются под влиянием столкновения континентальных плит, в результате чего увеличивается тепловой поток, что способствует подъему астеносферы и росту поднятий. Считается, что опускание территории может быть связано с формированием ледникового щита (Антарктида, Гренландия) и подъемом областей, освободившихся от ледникового покрова благодаря снятию нагрузки (Балтийский и Канадский щиты).

Землетрясения называют подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний. Наблюдения за землетрясениями ведутся с древнейших времен. Детальные описания землетрясений, наблюдавшихся с середины I тысячелетия до н.э., даны японцами. Систематические инструментальные наблюдения начаты во второй половине XIX в. (Б.Б.

Голицын, Э. Вихерт, Б. Гутенберг, А. Мохоровичич, Ф. Омори и др.).

Сильные землетрясения носят катастрофический характер, уступая по числу жертв только тайфунам и значительно (в десятки раз) опережая извержения вулканов. Количество слабых землетрясений гораздо больше, чем сильных. Так, на сотни тысяч землетрясений, ежегодно наблюдаемых на Земле, приходится единицы катастрофических.

Территориальное распределение землетрясений неравномерно и определяется перемещением и взаимодействием литосферных плит. Известны два главных сейсмических пояса: Тихоокеанский, охватывающий кольцом берега Тихого океана, и Средиземноморский, простирающийся через юг Евразии от Пиренейского полуострова на западе до Малайского архипелага на востоке. В пределах океанов значительной сейсмической активностью отличаются срединно-океанические хребты. Очаги землетрясений располагаются на глубинах до 700 км, но 3/4 сейсмической энергии выделяется в очагах, находящихся на глубине не более 70 км. Размер очага катастрофических землетрясений может достигать сотен и тысяч километров.

Область наибольших разрушений располагается вокруг эпицентра — проекции на земную поверхность места начала перемещения масс — гипоцентра.

Интенсивность проявления землетрясений на поверхности измеряется в баллах и зависит от глубины очага и магнитуды землетрясения, служащей мерой его энергии. Известное максимальное значение магнитуды близко к 9. С увеличением магнитуды на единицу энергия возрастает в 100 раз, например при толчке с магнитудой 6 высвобождается в 100 раз больше энергии, чем при магнитуде 5. Шкала магнитуд именуется шкалой Рихтера. Наряду с ней используют ряд сейсмических шкал, которые можно свести к трем основным группам.

В России применяется наиболее широко используемая в мире 12-балльная шкала MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника), восходящая к шкале Меркалли-Канкани (1902), в странах Латинской Америки принята 10-балльная шкала Росси-Фореля (1883), в Японии - 7-балльная шкала. Оценка интенсивности, в основу которой положены бытовые последствия землетрясения, в шкале MSK-64 зафиксирована следующим образом:

- 1 балл - не ощущается никем, регистрируется только сейсмическими приборами;
- 2 балла — иногда ощущается людьми, находящимися в спокойном состоянии;
- 3 балла - ощущается немногими, более заметно в помещениях на верхних этажах;
- 4 балла - ощущается многими (особенно в помещениях), в ночное время некоторые просыпаются. Возможны звон посуды, дребезжание стекол, хлопанье дверей;
- 5 баллов - ощущается почти всеми, многие ночью просыпаются. Качаются висячие предметы, появляются трещины в оконных стеклах и штукатурке;
- 6 баллов - ощущается всеми, осыпается штукатурка, легкие разрушения зданий;
- 7 баллов - появляются трещины в штукатурке и откалываются отдельные ее куски, тонкие трещины в стенах. Ощущаются толчки в автомобилях;
- 8 баллов - большие трещины в стенах, падение труб, памятников. Трещины на крутых склонах и в сыром грунте;
- 9 баллов - обрушение стен, перекрытий кровли в некоторых зданиях, разрывы подземных трубопроводов;
- 10баллов - обвалы многих зданий, искривление железнодорожных рельсов. Оползни, обвалы, трещины (до 1 м) в грунте;
- 11баллов - многочисленные широкие трещины в земле, обвалы в горах, обрушение мостов, только немногие каменные здания сохраняют устойчивость;
- 12баллов - значительные изменения рельефа, отклонение течения рек, предметы подбрасываются в воздух, тотальное разрушение сооружений.

Сильные землетрясения ощущаются на расстоянии тысячи километров и более. Так, в Москве время от времени наблюдаются толчки интенсивностью до 3 баллов как «эхо» катастрофических карпатских землетрясений в горах Вранча в Румынии; эти же землетрясения в близкой к Румынии Молдавии ощущаются как 7-8-балльные.

Продолжительность землетрясений различна. Например, землетрясение на острове Лисса в Средиземном море длилось три года (1870-1873), общее количество толчков составило 86 тыс.

Всякое землетрясение с магнитудой свыше 7 может стать крупной катастрофой. Однако оно может остаться и незамеченным, если произойдет в пустынном районе. Например, в результате Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г. с магнитудой 8,5 и интенсивностью 11-12 баллов возникли два озера, мгновенно образовался огромный надвиг в виде каменной волны высотой до 10 м, максимальное смещение по сбросу достигло 300 м и т.п.; территория размером с Данию или Голландию была полностью разрушена. Если бы это землетрясение произошло в густонаселенном районе, число жертв могло измеряться миллионами.

Если землетрясения происходят в море, то они могут вызвать разрушительные волны - цунами, наиболее часто опустошающие побережья Тихого океана, как это произошло в 1933 г. в Японии и в 1952 г. на Камчатке. Общее число жертв землетрясений на планете за последние 500 лет составило около 5 млн человек, почти половина из них приходится на Китай. Большие потери при землетрясениях обычно связаны с высокой плотностью населения, примитивными методами строительства, особенно характерными для бедных регионов.

В конце XX в. деятельность человека, принявшая планетарные масштабы, стала причиной искусственно вызываемой сейсмичности, возникающей, например, при ядерных взрывах (испытания на полигоне Невада (США) инициировали тысячи сейсмических толчков), при строительстве водохранилищ, заполнение которых иногда провоцирует сильные землетрясения. Так случилось в Индии, когда сооружение водохранилища Койна вызвало 8-балльное землетрясение, при котором погибло 177 человек.

Магматизм - процесс выплавления магмы, ее дальнейшего развития, перемещения, взаимодействия с твердыми горными породами и застывания. Магма - это расплавленная масса, образующаяся в глубинных зонах Земли. При внедрении магмы в земную кору или при ее излиянии на поверхность Земли формируются магматические горные породы. Магма периодически образует отдельные очаги в разных по составу и глубинности оболочках Земли.

Магматизм - проявление глубинной активности Земли, тесно связан с ее развитием, тепловой историей и тектонической эволюцией. По глубине проявления магматизм разделяют на абиссальный (глубинный), гипабиссальный (проявившийся на небольшой глубине) и поверхностный (вулканизм). В результате магматизма формируются: интрузивные тела и горные породы - в процессе внедрения в толщу земной коры расплавленной магмы и эффузивные - в процессе излияния жидкой лавы из глубин Земли на поверхность с образованием лавовых покровов и потоков.

Вулканизм — совокупность явлений, обусловленных проникновением магмы из глубин Земли на ее поверхность. Вулканизм приводит к появлению на поверхности Земли огромного количества вулканического материала (вулканическое стекло, пепел, газы и т.д.), а также к формированию такого грандиозного образования, как вулкан, который возникает над каналами и трещинами в земной коре. Именно по этим каналам и трещинам на земную поверхность извергаются лава, пепел, горячие газы, пары воды и обломки горных пород.

По степени активности различают действующие, уснувшие и потухшие вулканы, а по форме - центральные, извергающиеся из центрального выводного отверстия, и трещинные, вулканические аппараты которых имеют вид зияющих трещин или ряда небольших конусов. Основными частями вулканического аппарата являются магматический очаг (в земной коре или верхней мантии); жерло - выводной канал, по которому магма поднимается к поверхности; конус - возвышенность на поверхности Земли из продуктов выброса вулкана; кратер - углубление на поверхности конуса вулкана. Современные вулканы расположены вдоль крупных разломов и тектонически подвижных

областей (главным образом на островах и берегах Тихого и Атлантического океанов). Среди активных действующих вулканов назовем Ключевскую сопку и Авачинскую сопку (Камчатка, Россия), Везувий (Италия), Исалько (Сальвадор), Мауна-Лоа (Гавайские о-ва).

Экзогенные (внешние) процессы

Экзогенными называют процессы, которые происходят на поверхности Земли или на небольшой глубине в земной коре и обусловлены энергией солнечного излучения, гравитационной силой и жизнедеятельностью организмов. Сущность экзогенных процессов сводится к следующему [8, 13, 26, 33]:

◇ выветривание - механическое разрушение горных пород и химическое преобразование слагающих их минералов;

◇ денудация- удаление и перенос разрыхленных и растворенных продуктов разрушения горных пород водой, ветром и льдом. Большое влияние на ее темпы и характер оказывают размах и скорость тектонических движений, а также климатические условия территории. Преобладание денудации над тектоническим поднятием со временем приводит к снижению абсолютных и относительных высот региона и общему нивелированию рельефа;

◇ аккумуляция- отложение этих продуктов в виде осадков на суше или на дне водных бассейнов.

Процесс совместного формирования рельефа и рыхлых отложений в свою очередь именуется морфолитогенезом. Так, в результате деятельности реки формируются и ее долина, и отложения (аллювий).

Основу всех экзогенных процессов составляет *выветривание* — процесс механического разрушения и химического изменения горных пород и минералов в условиях земной поверхности и приповерхностных слоев литосферы, происходящий под влиянием различных атмосферных агентов (атмосферные осадки, ветер, сезонные и суточные колебания температуры воздуха, воздействие на породы атмосферного кислорода и др.), грунтовых и поверхностных вод, жизнедеятельности растительных и животных организмов и продуктов их разложения. Выветривание имеет большое значение для подготовки вещества к его транспортировке; с ним тесно связано почвообразование - зарождение и формирование почвы.

Склоновые процессы — класс экзогенных явлений. Их широкое распространение связано с тем, что большая часть земной поверхности представляет собой склоны - наклонные участки поверхности, формирующиеся в результате эндогенных и экзогенных процессов. Характер склонов определяется составом и строением слагающих пород, абсолютными и относительными высотами местности, интенсивностью склоновых процессов, особенностями климата, растительности и других компонентов природной среды, экспозиции склонов. По преобладанию гравитационных движений того или иного вида и характеру рельефообразующих процессов выделяют склоны обвальные, оползневые и др. Механизмы их достаточно разнообразны. Например, оползни (скользящее смещение масс горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести) могут образовываться вследствие подмыва склона, переувлажнения, сейсмических толчков и др.; солифлюкционные процессы развиваются в результате медленного передвижения почв и рыхлых грунтов под влиянием попеременного протаивания - промерзания и силы тяжести.

Преобразованию земной поверхности в огромной мере способствуют *флювиальные* (эрозионно-аккумулятивные) процессы — совокупность процессов, осуществляемых *текущими поверхностными водными потоками*. Водные потоки разделяют на постоянные (реки) и временные, а временные в свою очередь - на русловые (овраги и балки) и нерусловые (склоновые) [15]. Результатом флювиальных процессов является размыв водными потоками земной поверхности в одних местах и одновременный перенос и отложение продуктов размыва в других, в результате чего в одно и то же время образуются

как выработанные (эрозионные), так и аккумулятивные формы рельефа.

Флювиальные процессы развиваются в пределах речных бассейнов, в которые входят речные, овражно-балочные и склоновые системы. Центральным элементом речных бассейнов являются реки - водные потоки, текущие в естественных руслах и питающиеся за счет поверхностного и подземного стока со своих бассейнов. Реки разделяются на две группы: горные реки с быстрым течением, текущие обычно в узких долинах, и равнинные реки, имеющие более медленное течение и широкие террасированные долины. Наиболее крупные реки: в Российской Федерации - Обь, Енисей, Амур, Лена, Волга; в зарубежных странах — Нил, Миссисипи, Амазонка, Янцзы. Реки характеризуются своим режимом - изменением уровней, расходом, скоростью течения, температурой воды и другими явлениями, зависящими главным образом от характера питания рек и климатических условий местности, по которой они протекают. Суммарный годовой сток рек в Мировой океан - 42 тыс. км³. Реки - важнейший элемент природной среды: источник питьевой и промышленной воды, естественный водный путь, постоянно возобновляемый источник гидроэнергии, местообитание рыб и других пресноводных организмов, а также водной растительности.

Гляциальные процессы — процессы, связанные с деятельностью льда, т.е. с современным или прошлым оледенением территории. Такие процессы могут развиваться при условии оледенения некоторой территории — достаточно длительного существования большого количества льда в пределах участка земной поверхности, в первую очередь в виде ледников - движущихся скоплений льда. Эрозионная деятельность ледников (экзарация) сводится к выпаживанию коренного ложа ледника обломками горных пород, вмёрзшими в движущийся лед, аккумулятивная деятельность - к формированию специфических отложений в виде скопления несортированных обломков горных пород, переносимых или отложенных ледниками образований, — морены. В геологическом прошлом наиболее крупные колебания климата приводили к чередованию ледниковых эпох (ледниковий) и межледниковий. В наиболее близкое к нам время - в плейстоцене - насчитываются шесть ледниковых периодов и пять межледниковий. В результате таяния ледников образуются мощные водные потоки, которые формируют флювиогляциальные отложения (отложения водно-ледниковых потоков) и рельеф. В районах, характеризующихся отрицательной температурой горных пород и почв, наличием подземных льдов и многолетней мерзлоты, получили распространение специфические, криогенные процессы: пучение и наледообразование; криогенное выветривание, морозная сортировка, криогенный крип, солифлюкция и др.; морозное растрескивание; термокарст.

Карстовые процессы — процессы растворения, или выщелачивания, и отчасти размыва трещиноватых растворимых горных пород движущимися подземными и поверхностными водами и связанное с этим образование специфических карстовых западинных форм рельефа на поверхности Земли и различных пустот, каналов и пещер в глубине. Помимо карстовых выделяют процессы псевдокарста (ложного карста), когда происходит образование форм, внешне напоминающих карст, но обусловленных иными процессами.

Эоловые процессы - процессы, обусловленные деятельностью ветра: выдувание или развевание рыхлого материала (дефляция), обтачивание и разрушение твердых пород обломочным материалом, влекомым ветром (корразионные ниши и эоловые «каменные грибы», «каменные столбы» и т.д.), перенос эолового материала и его аккумуляция (грядовые пески, барханы, барханные цепи и параболические дюны и пр.). Эти процессы распространены в местах разряженного растительного покрова и сильных ветров.

Береговые морские процессы происходят в пределах береговой зоны, на границе суши и океана. В результате трансформации и рассеивания энергии морских волн при взаимодействии с литосферой формируются абразионные берега - высокие отступающие берега водоемов и аккумулятивные берега - наступающие берега, сложенные наносами, приносимыми волнами и прибоем. В результате действия поперечного перемещения

наносов формируется пляж — скопление наносов в зоне прибойного потока. Считается, что с процессом поперечного перемещения наносов связано также образование подводных валов - аккумулятивных форм, сложенных обычно песчаным материалом и тянущихся вдоль берега параллельно друг другу.

В пределах дна Мирового океана распространены гравитационные процессы — процессы, в возникновении и развитии которых основная роль принадлежит силе тяжести. В настоящее время среди гравитационных процессов дна Мирового океана выделяют процесс медленного сползания или оплывания толщ осадков на относительно пологих склонах (крип); подводные оползни; мутьевые потоки - течение водной суспензии твердых частиц; донные и постоянные поверхностные течения, формирующие огромные осадочные хребты; донная аккумуляция, ведущая к изменению рельефа дна за счет погребения коренных неровностей. Большую роль в формировании экзогенных форм рельефа дна Мирового океана играет биогенный фактор - деятельность рифостроителей, накопление рыхлого материала в результате отмирания организмов, разрушение и разрыхление горных пород вследствие деятельности различных камнеточцев, переработка донных грунтов илоедами и т.д.

Усиливающееся воздействие человека на земную поверхность обуславливает необходимость изучения *антропогенных рельефа и отложений — совокупности форм земной поверхности и отложений, измененных или созданных деятельностью человека.* Различают сознательно созданные формы антропогенных рельефа и отложений, производимые при мелиорации (террасирование и обвалование склонов, постройка оросительных и дренажных сетей), строительстве (насыпи, выемки, каналы, дамбы) и др., и стихийно возникающие в результате неправильного ведения сельского и лесного хозяйства, подземного строительства, прокладки дорог и т.п. (овраги, оседание поверхности над горными выработками, подвижные пески и др.).

Кроме представленных выше следует указать *космогенный процесс, связанный с падением метеоритов*, которые оставляют следы в виде кратеров. Помимо крупных тел на поверхность Земли попадает космическое вещество в виде пыли и микрометеоритов, количество которого в общем балансе рыхлых отложений, перемещающихся на поверхности рельефа, невелико.

Взаимодействие экзогенных и эндогенных процессов

Для понимания процессов формирования отложений и рельефа поверхности имеют большое значение концепции взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов [8, 9, 13, 23, 26]. В науках о Земле обсуждение этого взаимодействия длится довольно давно. В 1763 г. М.В. Ломоносов уже рассматривал такую идею. Во второй половине XVIII в. были разработаны учения о силах, принимающих участие в образовании земной коры и вызывающих изменения ее поверхности, - непутизм и плутонизм. Так, Г.А. Вернер (непутист) считал, что Мировому океану принадлежит исключительная роль в образовании горных пород, слагающих земную поверхность, и в выработке рельефа. В свою очередь Дж. Геттон (плутист) ввел в науку понятие о геологическом цикле, рассматривал изменения рельефа как составную часть геологического развития недр Земли. Концепцию медленного и непрерывного изменения земной поверхности под влиянием процессов, действующих и в настоящее время, выдвинул Ч. Лайель, который полагал, что основные формы рельефа возникают как результат движения земной коры, а затем нивелируются, разрушаются под действием внешних сил.

В 1899 г. В. Дэвис опубликовал учение о географических (геоморфологических) циклах, дав свое видение взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов [9]. По признаку ведущего экзогенного процесса Дэвис выделил «нормальный» (водно-эрозионный), ледниковый, морской и аридный (эоловый) циклы развития рельефа. Деятельность каждого из этих ведущих процессов протекает стадийно и дает разные результаты в условиях разной геологической структуры, но в конечном счете ведет к выравниванию

рельефа, к образованию почти равнины (пенеплена). Новый цикл развития, по Дэвису, наступает при тектоническом (эндогенном) поднятии пенеплена, а последовательное развитие рельефа от ранней (юной) стадии к стадии дряхлости может нарушаться тектоническими или климатическими изменениями.

Связь денудационных процессов с вертикальными движениями земной коры рассматривал немецкий ученый В. Пенка (1924), разработавший принцип изучения тектонических движений на основе анализа рельефа [23]. Он полагал, что при анализе взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов следует учитывать непрерывность и одновременность действия обоих этих процессов. Впоследствии модели взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов усложнялись и уточнялись.

§ 8.5. Возникновение и геологическая история Земли

Возникновение Земли и ранние этапы ее становления

Одной из важных задач современного естествознания в области наук о Земле является восстановление истории ее развития [1,4, 6, 12, 18, 20, 28, 30]. По современным космогоническим представлениям, Земля образовалась из рассеянного в протосолнечной системе газопылевого вещества. Один из наиболее вероятных вариантов возникновения Земли выглядит следующим образом. Вначале образовались Солнце и уплощенная вращающаяся околосолнечная туманность из межзвездного газопылевого облака под влиянием, например, взрыва близкой сверхновой звезды. Далее происходила эволюция Солнца и околосолнечной туманности с передачей электромагнитным или турбулентно-конвективным способом момента количества движения от Солнца планетам. В последующем «пыльная плазма» конденсировалась в кольца вокруг Солнца, а материал колец образовал так называемые планетезимали, которые конденсировались до планет. После этого подобный процесс повторился вокруг планет, что привело к образованию спутников. Считается, что этот процесс занял около 100 млн лет.

Предполагается, что далее в результате дифференциации вещества Земли под действием ее гравитационного поля и радиоактивного нагрева возникли и развились различные по химическому составу, агрегатному состоянию и физическим свойствам оболочки - геосферы Земли. Более тяжелый материал сформировал ядро, состоящее, вероятно, из железа с примесью никеля и серы. В мантии остались несколько более легкие элементы. Согласно одной из гипотез, мантия сложена простыми оксидами алюминия, железа, титана кремния и др. О составе земной коры уже говорилось достаточно подробно в § 8.2. Она сложена более легкими силикатами. Еще более легкие газы и влага сформировали первичную атмосферу.

Как уже говорилось, предполагается, что Земля родилась из скопления холодных твердых частиц, выпадавших из газопылевой туманности и слипавшихся под влиянием взаимного притяжения. По мере роста планеты она разогревалась вследствие соударения этих частиц, достигавших нескольких сот километров, подобно современным астероидам, и выделения теплоты не только известными нам теперь в коре естественно - радиоактивными элементами, но и более чем 10 вымершими с тех пор радиоактивными изотопами Al, Be, Cl и др. В результате могло происходить полное (в ядре) или частичное (в мантии) плавление вещества. В начальный период своего существования, примерно до 3,8 млрд лет, Земля и другие планеты земной группы, а также Луна подвергались усиленной бомбардировке мелкими и крупными метеоритами. Следствием этой бомбардировки и более раннего соударения планетезималей могло стать выделение летучих и начало образования вторичной атмосферы, так как первичная, состоявшая из газов, захваченных при образовании Земли, скорее всего быстро рассеялась в космическом пространстве. Несколько позже стала формироваться гидросфера. Сформировавшиеся таким образом атмосфера и гидросфера пополнялись в процессе дегазации мантии при вулканической деятельности.

Падение крупных метеоритов создавало обширные и глубокие кратеры, подобные наблюдаемым в настоящее время на Луне, Марсе, Меркурии, где следы их не стерты последующими изменениями. Кратерообразование могло провоцировать излияния магмы с образованием базальтовых полей, подобных покрывающим лунные «моря». Так, вероятно, образовалась первичная кора Земли, которая, однако, не сохранилась на современной ее поверхности, за исключением относительно небольших фрагментов в «более молодой» коре континентального типа.

Эта кора, содержащая в своем составе уже граниты и гнейсы, правда, с меньшим содержанием кремнезема и калия, чем в «нормальных» гранитах, появилась на рубеже около 3,8 млрд лет и известна нам по обнажениям в пределах кристаллических щитов практически всех континентов. Способ образования древнейшей континентальной коры пока во многом неясен. В составе этой коры, повсеместно метаморфизованной в условиях высоких температур и давлений, находят породы, текстурные особенности которых свидетельствуют о накоплении в водной среде, т.е. в эту отдаленную эпоху уже существовала гидросфера. Возникновение первой коры, подобной современной, требовало поступления из мантии больших количеств кремнезема, алюминия, щелочей, в то время как сейчас мантийный магматизм создает очень ограниченный объем обогащенных этими элементами пород. Считается, что 3,5 млрд лет назад на площади современных континентов была широко распространена серогнейсовая кора, названная так по преобладающему типу слагающих ее пород. В нашей стране она, например, известна на Кольском полуострове и в Сибири, в частности в бассейне р. Алдан.

Принципы периодизации геологической истории Земли

Дальнейшие события в геологическое время часто определяются, согласно *относительной геохронологии*, категориями «древнее», «моложе». Например, какая-то эра древнее некоторой другой. Отдельные отрезки геологической истории называются (в порядке уменьшения их продолжительности) зонами, эрами, периодами, эпохами, веками. Их выявление основано на том факте, что геологические события запечатлеваются в горных породах, а осадочные и вулканогенные породы располагаются в земной коре слоями. В 1669 г. Н. Стеной установлен закон последовательности напластования, согласно которому нижележащие пласты осадочных пород древнее вышележащих, т.е. образовались ранее их. Благодаря этому появилась возможность определения относительной последовательности образования слоев, а значит, связанных с ними геологических событий.

Основным в относительной геохронологии является биостратиграфический, или палеонтологический, метод установления относительного возраста и последовательности залегания пород. Этот метод был предложен У. Смитом в начале XIX в., а затем развит Ж. Кювье и А. Броньяром. Дело в том, что в большинстве осадочных пород можно встретить остатки животных или растительных организмов. Ж.Б. Ламарк и Ч. Дарвин установили, что животные и растительные организмы в течение геологической истории постепенно совершенствовались в борьбе за существование, приспособляясь к изменяющимся условиям жизни. Некоторые животные и растительные организмы на определенных стадиях развития Земли вымирали, на смену им приходили другие, более совершенные. Таким образом, по остаткам ранее живших более примитивных предков, найденным в каком-нибудь пласте, можно судить об относительно более древнем возрасте данного пласта.

Еще один метод геохронологического расчленения пород, особенно важный для расчленения магматических образований океанического дна, основан на свойстве магнитной восприимчивости горных пород и минералов, образующихся в магнитном поле Земли. С изменением ориентировки породы относительно магнитного поля или самого поля часть «врожденной» намагниченности сохраняется, а смена полярности запечатлевается в изменении ориентировки остаточной намагниченности пород. В

настоящее время установлена шкала смены таких эпох.

Абсолютная геохронология - учение об измерении геологического времени, выраженного в обычных абсолютных астрономических единицах (годах), - определяет время возникновения, завершения и длительность всех геологических событий, в первую очередь время образования или преобразования (метаморфизма) горных пород и минералов, так как по их возрасту определяется возраст геологических событий. Основным методом здесь является анализ соотношения радиоактивных веществ и продуктов их распада в горных породах, образовывавшихся в разные эпохи.

Древнейшие породы в настоящее время установлены в Западной Гренландии (3,8 млрд лет). Самый большой возраст (4,1 - 4,2 млрд лет) получен по цирконам из Западной Австралии, но циркон здесь залегает в переотложенном состоянии в мезозойских песчаниках. С учетом представлений об одновременности образования всех планет Солнечной системы и Луны и возраста самых древних метеоритов (4,5-4,6 млрд лет) и древних лунных пород (4,0—4,5 млрд лет) возраст Земли принимается равным 4,6 млрд лет.

В 1881 г. на II Международном геологическом конгрессе в Болонье (Италия) были утверждены основные подразделения совмещенных стратиграфической (для разделения слоистых осадочных пород) и геохронологической шкал. По этой шкале история Земли делилась на четыре эры в соответствии с этапами развития органического мира: 1) архейская, или археозойская - эра древнейшей жизни; 2) палеозойская - эра древней жизни; 3) мезозойская - эра средней жизни; 4) кайнозойская — эра новой жизни. В 1887 г. из состава архейской эры выделили протерозойскую — эру первичной жизни. Позднее шкала совершенствовалась. Один из вариантов современной геохронологической шкалы представлен в табл. 8.1. Архейская эра разделяется на две части: ранний (древнее 3500 млн лет) и поздний архей; протерозойская - также на две: ранний и поздний протерозой; в последнем выделяют рифейский (название произошло от древнего названия Уральских гор) и вендский периоды. Фанерозойский зон подразделяется на палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры и состоит из 12 периодов.

Таблица 8.1. Геохронологическая шкала

Эон	Эра	Период	Возраст (начало), млн лет
Фанерозой	Кайнозойская	Четвертичный	1,8
		Неогеновый	23±1
		Палеогеновый	65±3
	Мезозойская	Меловой	130±5
		Юрский	204±5
		Триасовый	245±10
	Палеозойская	Пермский	290±10
		Каменноугольный	360±10
		Девонский	410±10
		Силурийский	440±15
Ордовикский		495±20	
Криптозой	Протерозойская	Кембрийский	570±10
		Вендский	650±100
		Рифейский	1650±100
	Архейская	Карельский	2600±100
		Катархейская	3500±100
			4500±100

Основные этапы эволюции земной коры

Кратко рассмотрим основные этапы эволюции земной коры как косного субстрата, на котором развилось многообразие окружающей природы [6, 12, 18, 20, 28-30, 35].

В архее еще довольно тонкая и пластичная кора под влиянием растяжения испытала многочисленные разрывы сплошности, через которые к поверхности вновь устремилась базальтовая магма, заполнившая прогибы длиной сотни километров и шириной многие десятки километров, известные как зелено-каменные пояса (этим названием они обязаны преобладающему зеленосланцевому низкотемпературному метаморфизму базальтовых пород). Наряду с базальтами среди лав нижней, основной по мощности части разреза этих поясов встречаются высокомагнезиальные лавы, свидетельствующие об очень большой степени частичного плавления мантийного вещества, что говорит о высоком тепловом потоке, намного превышавшем современный. Развитие зеленокаменных поясов заключалось в смене типа вулканизма в направлении увеличения содержания в нем диоксида кремния (SiO_2), в деформациях сжатия и метаморфизме осадочно-вулканогенного выполнения и, наконец, в накоплении обломочных осадков, свидетельствующих об образовании гористого рельефа.

После смены нескольких поколений зеленокаменных поясов архейский этап эволюции земной коры завершился 3,0 -2,5 млрд лет назад массовым образованием нормальных гранитов с преобладанием K_2O над Na_2O . Гранитизация, а также региональный метаморфизм, местами достигший высшей ступени, привели к формированию зрелой континентальной коры на большей части площади современных материков. Однако и эта кора оказалась недостаточно устойчивой: в начале протерозойской эры она испытала дробление. В это время возникла планетарная сеть разломов и трещин, заполнявшихся дайками (пластинообразными геологическими телами). Одна из них - Великая дайка в Зимбабве - имеет длину более 500 км и ширину до 10 км. Кроме того, впервые проявилось рифтообразование, давшее начало зонам прогибания, мощного осадконакопления и вулканизма. Их эволюция привела к созданию в конце *раннего протерозоя* (2,0-1,7 млрд лет назад) складчатых систем, вновь спаявших обломки архейской континентальной коры, чему способствовала новая эпоха мощного гранитообразования.

В итоге к концу раннего протерозоя (к рубежу 1,7 млрд лет назад) зрелая континентальная кора существовала уже на 60— 80% площади ее современного распространения. Более того, некоторые ученые полагают, что на этом рубеже вся континентальная кора составляла единый массив - суперконтинент Мегатея (большая земля), которому на другой стороне земного шара противостоял океан - предшественник современного Тихого океана - Мегаталасса (большое море). Этот океан был менее глубоким, чем современные океаны, ибо рост объема гидросферы за счет дегазации мантии в процессе вулканической деятельности продолжается всю последующую историю Земли, хотя и более медленно. Не исключено, что прообраз Мегаталассы появился еще раньше, в конце архея.

В катархее и начале архея появились первые следы жизни - бактерии и водоросли, а в позднем архее распространились водорослевые известковые постройки - строматолиты. В позднем архее началось, а в раннем протерозое завершилось коренное изменение состава атмосферы: под влиянием жизнедеятельности растений в ней появился свободный кислород, тогда как катархейская и раннеархейская атмосфера состояла из водяного пара, CO_2 , CO , CH_4 , N , NH_3 и H_2S с примесью HCl , HF и инертных газов.

В позднем протерозое (1,7-0,6 млрд лет назад) Мегатея стала постепенно раскалываться, и этот процесс резко усилился в конце протерозоя. Следями его являются протяженные континентальные рифтовые системы, погребенные в основании осадочного чехла древних платформ. Важнейшим его результатом было образование обширных межконтинентальных подвижных поясов - Северо-Атлантического, Средиземноморского, Урало-Охотского, разделивших континенты Северной Америки, Восточной Европы, Восточной Азии и наиболее крупный обломок Мегатеи - южный суперконтинент

Гондвану. Центральные части этих поясов развивались на новообразованной в процессе рифтогенеза океанской коре, т.е. пояса представляли собой океанские бассейны. Их глубина постепенно увеличивалась по мере роста гидросферы. Одновременно подвижные пояса развивались по периферии Тихого океана, глубина которого также возрастала. Климатические условия становились более контрастными, о чем свидетельствует появление, особенно в конце протерозоя, ледниковых отложений (тиллитов, древних морен и водно-ледниковых осадков).

Палеозойский этап эволюции земной коры характеризовался интенсивным развитием подвижных поясов - межконтинентальных и окраинно-континентальных (последние на периферии Тихого океана). Эти пояса расчленились на окраинные моря и островные дуги, их осадочно-вулканогенные толщи испытывали сложные складчато-надвиговые, а затем сбрососдвиговые деформации, в них внедрялись граниты и на этой основе формировались складчатые горные системы. Этот процесс протекал неравномерно. В нем различают ряд интенсивных тектонических эпох и гранитного магматизма: байкальскую — в самом конце протерозоя, салаирскую (от хребта Са-лаир в Средней Сибири) — в конце кембрия, таковскую (от Таковских гор на востоке США) - в конце ордовика, каледонскую (от древнеримского названия Шотландии) - в конце силура, акадскую (Акадия - старинное название северо-восточных штатов США) — в середине девона, судетскую — в конце раннего карбона, заальскую (от р. Заале в Германии) — в середине ранней перми. Первые три тектонические эпохи палеозоя нередко объединяют в каледонскую эру тектогенеза, последние три - в герцинскую, или варисскую. В каждую из перечисленных тектонических эпох определенные части подвижных поясов превращались в складчатые горные сооружения, а после разрушения (денудации) входили в состав фундамента молодых платформ. Но некоторые из них частично испытывали активизацию в последующие эпохи горообразования.

К концу палеозоя межконтинентальные подвижные пояса полностью замкнулись и заполнились складчатыми системами. В результате отмирания Северо-Атлантического пояса Североамериканский континент сомкнулся с Восточно-Европейским, а последний (после завершения развития Урало-Охотского пояса) — с Сибирским, Сибирский — с Китайско-Корейским. В итоге образовался суперконтинент Лавразия, а отмирание западной части Средиземноморского пояса привело к его объединению с южным суперконтинентом - Гондваной - в одну континентальную глыбу - Пангею. Восточная часть Средиземноморского пояса в конце палеозоя - начале мезозоя превратилась в огромный залив Тихого океана, по периферии которого также поднялись складчатые горные сооружения.

На фоне этих изменений структуры и рельефа Земли продолжалось развитие жизни. Первые животные появились еще в позднем протерозое, а на самой заре фанерозоя существовали почти все типы беспозвоночных, но они еще были лишены раковин или панцирей, которые известны с кембрия. В силуре (или уже в ордовике) начался выход растительности на сушу, а в конце девона существовали леса, получившие наибольшее распространение в каменноугольном периоде. Рыбы появились в силуре, земноводные - в карбоне.

Мезозойская и кайнозойская эры - последний крупный этап развития структуры земной коры, который отмечен становлением современных океанов и обособлением современных континентов. В начале этапа, в триасе, еще существовала Пангея, но уже в раннем юрском периоде она снова раскололась на Лавразию и Гондвану вследствие возникновения широтного океана Тетис, протянувшегося от Центральной Америки до Индокитая и Индонезии, а на западе и на востоке он смыкался с Тихим океаном (рис. 8.6); этот океан включал и Центральную Атлантику. Отсюда в конце юры процесс раздвига континентов распространился к северу, создав в течение мелового периода и раннего палеогена Северную Атлантику, а начиная с палеогена - Евразийский бассейн Северного Ледовитого океана (Амеразийский бассейн возник раньше как часть Тихого океана). В итоге Северная

Америка отделилась от Евразии. В поздней юре началось формирование Индийского океана, и с начала мела стала раскрываться с юга Южная Атлантика. Это означало начало распада Гондваны, существовавшей как единое целое в течение всего палеозоя. В конце мела Северная Атлантика соединилась с Южной, отделив Африку от Южной Америки. Тогда же Австралия отделилась от Антарктиды, а в конце палеогена произошло отделение последней от Южной Америки.

Таким образом, к концу палеогена оформились все современные океаны, обособились все современные континенты и облик Земли приобрел вид, в основном близкий к нынешнему. Однако еще не было современных горных систем.

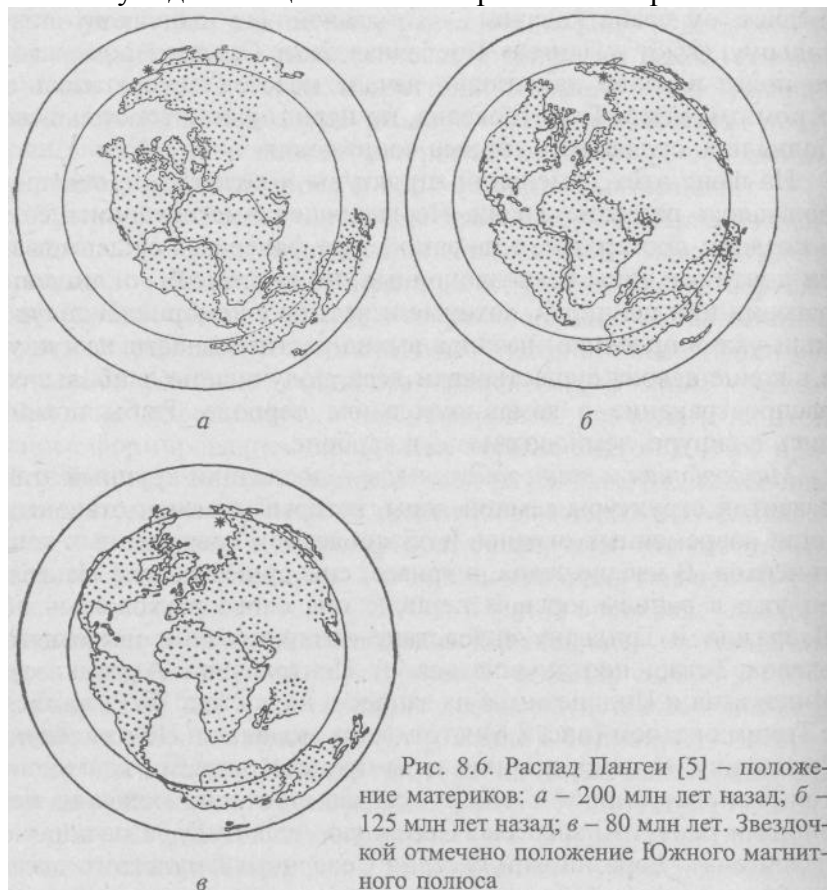


Рис. 8.6. Распад Пангеи [5] – положение материков: а – 200 млн лет назад; б – 125 млн лет назад; в – 80 млн лет. Звездочкой отмечено положение Южного магнитного полюса

С позднего палеогена (40 млн лет назад) началось интенсивное горообразование, достигшее кульминации в последние 5 млн лет. Этот этап становления молодых складчато-покровных горных сооружений, образования возрожденных сводово-глыбовых гор выделяют как неотектонический. Фактически неотектонический этап является подэтапом мезозойско-кайнозойского этапа развития Земли, так как именно на этом этапе оформились основные черты современного рельефа Земли, начиная с распределения океанов и континентов.

На этом этапе завершилось формирование основных черт современной фауны и флоры. Мезозойская эра была эрой пресмыкающихся, млекопитающие стали преобладать в кайнозое, а в позднем плейстоцене появился человек. В конце раннего мела появились покрытосемянные растения и суша приобрела травяной покров. В конце неогена и антропогене высокие широты обоих полушарий были охвачены мощным материковым оледенением, реликтами которого являются ледниковые шапки Антарктиды и Гренландии. Это было третье крупное оледенение в фанерозое: первое имело место в позднем ордовике, второе — в конце карбона - начале перми; оба они были распространены в пределах Гондваны.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое сфероид, эллипсоид и геоид? Каковы параметры принятого в нашей стране

эллипсоида? Зачем он нужен?

2. Каково внутреннее строение Земли? На основании чего делается заключение о ее строении?

3. Каковы основные физические параметры Земли и как они изменяются с глубиной?

4. Каков химический и минералогический состав Земли? На основании чего делается заключение о химическом составе всей Земли и земной коры?

5. Какие основные типы земной коры выделяют в настоящее время?

6. Что такое гидросфера? Что такое круговорот воды в природе? Какие основные процессы происходят в гидросфере и ее элементах?

7. Что такое атмосфера? Каково ее строение? Какие процессы происходят в ее пределах? Что такое погода и климат?

8. Дайте определение эндогенных процессов. Какие эндогенные процессы вы знаете? Кратко их охарактеризуйте.

9. В чем заключается сущность тектоники литосферных плит? Каковы ее основные положения?

10. Дайте определение экзогенных процессов. В чем основная сущность этих процессов? Какие эндогенные процессы вы знаете? Кратко их охарактеризуйте.

11. Как взаимодействуют эндогенные и экзогенные процессы? Каковы результаты взаимодействия этих процессов? В чем сущность теорий В. Дэвиса и В. Пенка?

12. Каковы современные представления о возникновении Земли? Как происходило ее раннее становление как планеты?

13. На основании чего производится периодизация геологической истории Земли?

14. Как развивалась земная кора в геологическом прошлом Земли? Каковы основные этапы развития земной коры?

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллисон А., Палмер Д. Геология. Наука о вечно меняющейся Земле. М., 1984.

2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980.

3. Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. М., 1991.

4. Гаврилов В.П. Путешествие в прошлое Земли. М., 1987.

5. Геологический словарь. Т. 1, 2. М., 1978.

6. Городницкий А.М., Зоненшайн Л.П., Мирлин Е.Г. Реконструкции положения материков в фанерозое. М., 1978.

7. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. Л., 1973.

8. Динамическая геоморфология / Под ред. Г.С. Ананьева, Ю.Г. Симонова, А.И. Спиридонова. М., 1992.

9. Дэвис В.М. Геоморфологические очерки. М., 1962.

10. Земля. Введение в общую геологию. М., 1974.

11. Климатология / Под ред. О.А. Дроздова, Н.В. Кобышевой. Л., 1989.

12. Короновский Н.В., Якушева А.Ф. Основы геологии. М., 1991.

13. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М., 1988.

14. Львович М.И. Вода и жизнь. М., 1986.

15. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Руслловые процессы. М., 1986.

16. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М., 1991.

17. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л., 1982.

18. Монин А.С. История Земли. М., 1977.

19. Неклюкова Н.П., Душина И.В., Раковская Э.М. и др. География. М., 2001.

20. Немков Г.И. и др. Историческая геология. М., 1974.

21. Неспкойный ландшафт. М., 1981.

22. Общая и полевая геология / Под ред. А.Н. Павлова. Л., 1991.

23. Пенк В. Морфологический анализ. М., 1961.

24. Перельман А.И. Геохимия. М., 1989.

- 25.Полтараус Б.В., Кислое А.В. Климатология. М., 1986.
26. Проблемы теоретической геоморфологии /Под ред. Л.Г. Никифорова, Ю.Г. Симонова. М., 1999.
- 27.Сауков А.А. Геохимия. М., 1977.
- 28.Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М., 1991.
- 29.Ушаков С.А., Ясаманов Н.А. Дрейф материков и климат Земли. М., 1984.
- 30.Хаин В.Е., Ломте М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М., 1995.
- 31.Хаин В.Е., Рябухин А.Г. История и методология геологических наук. М., 1997.
- 32.Хромов С.П., Петросяну М.А. Метеорология и климатология. М., 1994.
- 33.Щукин И.С. Общая геоморфология. Т.1. М., 1960.
- 34.Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М., 2000.
- 35.Якушева А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология. М., 1988.

Глава 9

ФЕНОМЕН ЖИЗНИ

§ 9.1. Сущность и уровни организации жизни

Сущность жизни и свойства живых организмов

На фоне возникновения и развития косной материи возникло и стало развиваться такое удивительное явление, как жизнь. В настоящее время описано более 1 млн видов животных, около 0,5 млн видов растений, сотни тысяч видов грибов, более 3 тыс. видов бактерий. Подсчитано, что не менее 1 млн видов пока остаются неописанными. Вопрос о сущности и происхождении жизни всегда имел для человека не только познавательный интерес, но и огромное значение для формирования мировоззрения. Возникновение и развитие живых существ вплоть до появления такого феномена, как человек, - одна из центральных проблем естествознания.

Живые организмы существенно отличаются от неживых систем. Эти отличия придают жизни качественно новые свойства. Рассмотрим сущность понятия «жизнь». Многочисленные формулировки сущности жизни можно свести к двум основным: 1) жизнь определяется субстратом, носителем свойств (например, белком); 2) ее трактуют как совокупность специфических физико-химических процессов. Например, Аристотель определял жизнь как питание, рост и одряхление; Г. Тревиранус - как стойкое единообразие процессов при различии внешних влияний; М. Биша - как совокупность функций, сопротивляющихся смерти; И.П. Павлов — как сложный химический процесс; Ф. Энгельс - как способ существования белковых тел, значимым моментом которого является обмен веществ с окружающей средой. Одно из наиболее полных определений жизни с учетом современного уровня знаний дал отечественный ученый М.В. Волькенштейн. По его мнению, *существующие на Земле живые тела представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров - белков и нуклеиновых кислот*. Здесь подчеркивается значение нуклеиновых кислот, обеспечивающих преемственность признаков и свойств.

Живым организмам присущи определенные свойства. Часто эти свойства в той или иной степени характерны и для неживой природы, что подчеркивает единство эволюционных процессов. Однако проявление этих свойств и их совокупность не схожи у живых и неживых объектов. Именно это - совокупность и характер проявления — как раз и определяет сущность жизни. Рассмотрим ряд свойств живых организмов в сравнении со свойствами неживых объектов [19, 20].

◇ *Единство химического состава*. В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы. Однако соотношение элементов в живом и неживом неодинаково. Элементный состав неживой природы наряду с кислородом

представлен в основном кремнием, железом, магнием, алюминием и т.д. В живых организмах 98% химического состава приходится на четыре элемента: углерод, кислород, азот и водород, и, кроме того, живые организмы построены в основном из четырех крупных групп сложных органических молекул — биологических полимеров: нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов, жиров, которые редко встречаются в неживой природе.

◇ *Обмен веществ.* Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой - поглощают из нее необходимые вещества и выделяют продукты жизнедеятельности. Обмен веществ - двусторонний процесс: во-первых, в результате ряда сложных химических превращений вещества из окружающей среды уподобляются органическим веществам живого организма и из них строится его тело; во-вторых, сложные органические соединения распадаются на простые, при этом утрачивается их сходство с веществами организма и выделяется энергия, необходимая для реакций биосинтеза. Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава и строения всех частей организма и, как следствие, постоянство их функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, т.е. обеспечивает гомеостаз. В неживой природе также существует обмен веществ. Но небиологический круговорот веществ сводится к простому переносу их с одного места на другое или изменению их агрегатного состояния, например превращению воды в пар или лед.

◇ *Самовоспроизведение (репродукция) и наследственность.* При размножении живых организмов потомство обычно похоже на родителей: кошки воспроизводят котят, собаки - щенят, из семян одуванчика вырастает одуванчик. Таким образом, размножение - это свойство организмов воспроизводить себе подобных. В основе самовоспроизведения лежит образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в ДНК. Благодаря репродукции не только целые организмы, но и клетки, органоиды клеток после деления сходны со своими предшественниками; так, из одной молекулы ДНК при ее удвоении образуются две дочерние молекулы, полностью повторяющие исходную. Следовательно, самовоспроизведение тесно связано с наследственностью - способностью организмов обеспечивать передачу признаков, свойств, особенностей развития из поколения в поколение, что обуславливает преемственность поколений.

◇ *Изменчивость, развитие и рост.* Под изменчивостью понимают способность организмов приобретать новые признаки и свойства на основе изменения молекул ДНК. Изменчивость создает разнообразный материал для естественного отбора и соответственно предпосылки для развития и роста живых организмов. Развитие - необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. В результате развития возникает новое качественное состояние систем. Развитие живой формы существования материи представлено индивидуальным развитием организмов (онтогенез) и историческим развитием видов (филогенез). В процессе развития постепенно и последовательно формируется специфическая структурная организация живого организма, а увеличение его массы обусловлено репродукцией макромолекул, элементарных структур клеток и самих клеток. Филогенез, или эволюция в целом, - это необратимое и направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни. Результатом эволюции является все многообразие живых организмов на Земле.

◇ *Раздражимость и энергозависимость.* Любой организм неразрывно связан с окружающей средой: извлекает из нее необходимые вещества, подвергается воздействию неблагоприятных факторов среды, вступает во взаимодействие с другими организмами и т.д. В процессе эволюции у живых организмов выработалось и закрепилось свойство раздражимости — избирательной реакции на внешние воздействия. Всякое изменение окружающих организм условий среды представляет собой по отношению к нему раздражение, а реакция организма на внешние раздражители служит показателем его чувствительности и проявлением раздражимости. Кроме того, живые организмы обладают

свойством энергозависимости; это открытые для поступления энергии системы, устойчивые лишь при условии непрерывного доступа к ним энергии и материи извне. Живые организмы существуют до тех пор, пока получают энергию и материю из окружающей среды.

◇ *Ритмичность* - еще одно следствие тесного взаимодействия живой и неживой природы. В природе повсюду распространены колебательные процессы: океанские приливы и отливы, смена дня и ночи, фаз луны, чередование времен года, периодическое увеличение солнечной активности, цикличность геологических процессов. Периодические изменения в окружающей среде оказывают существенное влияние на живую природу и на собственные ритмы живых организмов. В живых системах ритмичность проявляется в периодических изменениях интенсивности физиологических функций с различными периодами колебаний (от нескольких секунд до года и столетия): суточные ритмы сна и бодрствования у человека, сезонные ритмы активности и спячки у некоторых млекопитающих (суслики, ежи, медведи) и др. Ритмичность обеспечивает согласование функций организма и окружающей среды, т.е. приспособление к периодически изменяющимся условиям существования. Например, сезонные и суточные ритмы выработались как приспособление живых организмов к геофизическим циклам среды.

◇ *Саморегуляция (авторегуляция)* - способность живых организмов, обитающих в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность физиологических процессов. При этом недостаток поступления каких-либо питательных веществ мобилизует внутренние ресурсы организма, а при избытке какого-либо вещества его синтез прекращается. Например, понижение концентрации такого фермента, как АТФ - универсального аккумулятора энергии в клетке, служит сигналом, запускающим процесс его синтеза; при восполнении запаса АТФ синтез его прекращается. Уменьшение количества клеток в ткани (например, в результате травм) вызывает усиленное размножение оставшихся клеток; восстановление количества клеток до нормального дает сигнал о прекращении интенсивного клеточного деления.

◇ *Дискретность (прерывистость, разделенность)*. Жизнь на Земле проявляется в виде дискретных форм, т.е. отдельный организм или биологическая система (вид, биогеоценоз и др.) состоит из обособленных или отграниченных в пространстве, но тем не менее тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство. Например, любой вид включает отдельные особи; тело высокоорганизованной особи образуют пространственно отграниченные органы, которые в свою очередь состоят из отдельных тканей и клеток; энергетический аппарат клетки представлен отдельными митохондриями, аппарат синтеза белка - рибосомами² и далее вплоть до макромолекул, каждая из которых может выполнять функцию, лишь будучи пространственно изолированной от других. Дискретность строения организма - основа его структурной упорядоченности. Она создает возможность постоянного самообновления его путем замены «износившихся» структурных элементов (молекул, ферментов, органоидов клетки³, целых клеток) без прекращения выполняемой функции. Дискретность вида предопределяет возможность его эволюции через гибель или устранение от размножения неприспособленных особей и сохранения особей с полезными для выживания признаками.

Уровни организации жизни

Мир живой природы представляет собой совокупность биологических систем разного уровня организации и различной соподчиненности. Обычно выделяют несколько уровней организации живой материи [6, 20, 28].

◇ *Молекулярный уровень*. Различие живых и неживых систем проявляется уже на молекулярном уровне. На уровне функционирования биологических макромолекул (нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов), а также других важных органических веществ начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма - обмен веществ

и превращение энергии, передача наследственной информации и др. В настоящее время выясняется, каким образом и в какой мере рост и развитие организмов, хранение и передача наследственной информации, превращение энергии в живых клетках и другие явления обусловлены структурой и свойствами биологически важных макромолекул (главным образом белков и нуклеиновых кислот). Безусловный интерес представляет так называемая репликация - удвоение молекул ДНК (у некоторых вирусов РНК) при участии специальных ферментов, которая обеспечивает точное копирование генетической информации, заключенной в молекулах ДНК, и передачу ее от поколения к поколению.

◇ *Клеточный уровень.* Клетка — структурная и функциональная единица, а также единица размножения и развития всех живых организмов, обитающих на Земле. Она может существовать как отдельный организм (бактерии, простейшие, некоторые водоросли и грибы), так и в составе тканей многоклеточных животных, растений, грибов. Единственное исключение из этого правила — вирусы, представляющие собой неклеточные формы жизни, но вирусы могут проявлять свойства живых систем только в клетках. Содержимое клетки именуется протоплазмой. В каждой клетке имеется генетический аппарат, который обычно заключен в ядре, отделенном мембранами от цитоплазмы.

Клетки различны по величине; так, клетки некоторых бактерий имеют диаметр 0,1-0,23 мкм, а диаметр яйца страуса в скорлупе достигает 155 мм; диаметр большинства эукариотных клеток (с оформленным клеточным ядром, т.е. все клетки, кроме бактерий) составляет 10-100 мкм. Многообразные функции клеток выполняются специализированными внутриклеточными структурами - органоидами. Универсальные органоиды эукариотных клеток в ядре - хромосомы, в цитоплазме - рибосомы, митохондрии, эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, клеточная мембрана. Во многих клетках присутствуют мембранные структуры, способствующие поддержанию формы клетки.

Важнейшими химическими компонентами клетки считаются белки, включая ферменты, которые содержатся как в самой клетке, так и в жидких средах организма. Однако синтезируются они только в клетке, которая осуществляет пространственную организацию химических процессов. Так, процесс клеточного дыхания у всех клеток, кроме бактерий, происходит только на мембранах митохондрий, а синтез белка — на рибосомах. Благодаря концентрации ферментов, упорядоченному их расположению в структурах ускоряются реакции, организуется их сопряжение (принцип конвейера), разделяются разнородные процессы. Для строения клетки характерна микрогетерогенность (микронеоднородность), которая позволяет синтезировать различные вещества из одних и тех же предшественников в одно время в общем микрообъеме. Принцип компактности, присущий метаболизму клетки, особенно выражен в структуре ДНК. Например, ДНК яйцеклетки человека весит $6 \cdot 10^{-12}$ г и при этом кодирует свойства всех белков человека. Внутри клетки непрерывно поддерживается определенная концентрация ионов, отличная от их концентрации в окружающей среде, в результате чего образуются выпячивания клеточной мембраны, которые могут замыкаться и отделяться внутри клетки в виде пузырьков. Клетки способны захватывать из окружающей их среды капельки с крупными молекулами, включая белки или даже вирусы и небольшие клетки.

У всех клеток одного организма геном (совокупность генов) не отличается по объему потенциальной информации от генома оплодотворенной яйцеклетки. Это доказывают опыты с пересадкой ядра узкоспециализированной клетки в цитоплазму энуклеированной яйцеклетки, после чего может развиваться нормальный организм. Различия свойств клетки многоклеточного организма объясняются неодинаковой активностью генов, что обуславливает дифференцировку клеток. В результате одни клетки становятся возбудимыми (нервные), другие приобретают сократимые белки, образующие миофибриллы (мышечные), третьи синтезируют пищеварительные ферменты или гормоны (железистые) и т.д. Многие клетки полифункциональны; так, клетки печени синтезируют

различные белки плазмы крови и желчь, накапливают гликоген и превращают его в глюкозу, окисляют чужеродные вещества (в том числе и многие лекарства). Во всех клетках активны гены общеклеточных функций. Следовательно, сходных признаков в разных клетках значительно больше, чем специальных признаков. Клетки близкого происхождения и сходных функций образуют ткани.

В организме человека около 10^{14} клеток. В некоторых тканях количество клеток остается постоянным в течение всей жизни организма. В этих тканях делятся относительно малодифференцированные клетки, резерв которых самоподдерживается, а одна из дочерних клеток дифференцируется. Например, у человека ежедневно погибает около 70 млрд клеток кишечного эпителия и 2 млрд эритроцитов. Во многих других тканях в клеточный цикл входят вполне дифференцированные клетки, и тогда деление клетки не может завершиться до конца, а ограничивается удвоением хромосом или вообще не начинается, и клетка выходит из цикла после некоторого момента. Некоторые ядра не входят в цикл в течение всей жизни дифференцированной клетки (нейроны, волокна скелетных мышц), при этом продолжительность жизни клетки соответствует жизни организма. Минимальная продолжительность жизни клетки (кишечного эпителия) человека - 1-2 дня.

Во всех клетках происходит интенсивное обновление веществ и структур. Огромное количество клеток в каждой ткани, объединенных метаболическими и регуляторными процессами, их постоянное внутреннее обновление обеспечивают надежность работы органов многоклеточного организма.

На клеточном уровне основное внимание ученые уделяют проблемам морфологической организации клетки, специализации клеток в ходе развития, функциям клеточной мембраны механизмов и регуляции деления клетки, строению и функциям таких органоидов, как хромосомы, митохондрии, рибосомы, а также другим включениям клетки.

◇ *Организменный уровень.* Многоклеточный организм представляет собой целостную систему органов и тканей, специализированных для выполнения различных функций. Ткань - совокупность сходных по строению клеток, объединенных выполнением общей функции. Орган - это структурно-функциональное объединение нескольких типов тканей. Например, кожа человека как орган включает эпителий и соединительную ткань, которые вместе выполняют целый ряд функций; из них наиболее значительная — защитная. В рамках организменного (онтогенетического) уровня изучают особь и свойственные ей как целому черты строения и физиологические процессы — механизмы адаптации (акклиматизации) и поведения (в том числе функции центральной нервной системы), а также такие актуальные проблемы, как дифференцировка тканей, т.е. превращение в процессе индивидуального развития организма (онтогенеза) первоначально одинаковых, неспециализированных клеток зародыша в специализированные клетки тканей и органов,

О *Популяционно-видовой уровень.* Популяция как система надорганизменного порядка - это совокупность организмов одного и того же вида, объединенная общим местом обитания. В данной системе осуществляются простейшие, элементарные эволюционные преобразования. Популяционная биология изучает факторы, влияющие на численность популяции, проблемы сохранения исчезающих видов, динамики генетического состава популяций, действие факторов микроэволюции и т.д. Для хозяйственной деятельности человека важны такие проблемы популяционной биологии, как контроль численности видов, поддержание оптимальной численности эксплуатируемых и охраняемых популяций.

◇ *Биогеоценологически-биосферный уровень.* Биогеоценоз - совокупность организмов разных видов и различной сложности организации со всеми факторами среды обитания.

Биосфера - самая крупная единица организации живой материи на Земле. Соответствующая отрасль биологии изучает проблемы взаимоотношений организмов в биоценозах, условия и факторы, определяющие их численность, продуктивность и устойчивость, влияние деятельности человека на сохранение биоценозов и их комплексов.

На втором наиболее глобальном (биосферном) подуровне биология решает такие глобальные проблемы, как определение интенсивности образования свободного кислорода растительным покровом Земли, изменения концентрации углекислого газа в атмосфере, связанного с деятельностью человека.

§ 9.2. Концепции возникновения жизни

Подходы к решению проблемы возникновения жизни

Вопрос о возникновении жизни беспокоит человечество достаточно давно. В число теорий, получивших весьма широкое распространение и доминировавших в те или иные периоды развития естествознания, обычно включают: теорию стационарного состояния, в соответствии с которой жизнь существовала всегда; креационизм, утверждающий, что жизнь создана сверхъестественным существом в результате акта творения; теорию самопроизвольного зарождения, т.е. жизнь возникала и возникает неоднократно из неживого вещества; теорию панспермии, утверждающую, что жизнь занесена на Землю извне; теорию биохимической эволюции. Следует отметить, что теории стационарного состояния и креационизм возникли под воздействием преимущественно религиозных представлений о мироздании; креационизм в настоящее время (в той или иной форме) поддерживается сторонниками божественного сотворения мира.

◇ *Теорию самозарождения, или самопроизвольного возникновения жизни*, обычно связывают с развитием собственно естественно-научных представлений о возникновении жизни на Земле. Сторонники этой теории находили подтверждение своей идеи в опытах с появлением червей в гниющем мясе, земле, отбросах, мышей в мешках с зерном и т.д. Данную точку зрения разделяли Аристотель, Г. Галилей, И.В. Гёте, Р. Декарт. Их авторитет долгое время поддерживал теорию самозарождения на главенствующих позициях в естествознании.

Одним из первых эту точку зрения подверг сомнению итальянский врач и естествоиспытатель Ф. Реди (XVII в.), показав, что в хорошо изолированном от окружающей среды мясе черви не появляются. Он же провозгласил принцип «все живое от живого». Однако окончательно этот принцип получил распространение лишь в 1860-е гг., что связано с опытами Л. Пастера, который доказал его на микробиологическом уровне.

◇ *Теория панспермии* объясняла зарождение жизни на Земле естественными причинами. Видоизменяясь, эта теория существовала с древности до начала XX в. По представлениям ее сторонников, таких известных ученых, как С.А. Аррениус, Г. Гельмгольц, В.И. Вернадский, зародыши жизни (например, споры микроорганизмов) рассеяны в мировом пространстве и переносятся с одного небесного тела на другое с метеоритами или под действием давления света; следовательно, жизнь занесена на Землю из Космоса. Эти представления снимали противоречия, характерные для гипотезы самозарождения. Однако оставались открытыми вопросы о том, где и как зародилась жизнь и каким образом она была перенесена на Землю. Особенно остро эти вопросы встали после открытия космических лучей и выяснения действия радиации на биологические объекты. В настоящее время периодически предпринимаются попытки возродить эту теорию.

В начале XX в. накопившиеся противоречия, с которыми не могли справиться теории самозарождения и панспермии, привели к дальнейшим поискам объяснения способа возникновения жизни на Земле. Так, Г. Миллер выдвинул *гипотезу о случайном возникновении первичной молекулы* живого вещества. Однако было подсчитано, что это событие может произойти с вероятностью, равной вероятности того, что обезьяна отпечатает сонет У. Шекспира на пишущей машинке, если будет продолжительное время ударять по клавишам.

◇ *Теория биохимической эволюции* отражает современные представления о происхождении жизни на Земле и основывается на работах А.И. Опарина (1924) и Дж.

Холдейна (1929). Эти представления заключаются в признании абиогенного, т.е. небиологического, возникновения органических веществ из химических элементов и неорганических молекул, составлявших атмосферу Земли в древности, путем длительной молекулярной эволюции. За прошедшие десятилетия концепция биохимической эволюции была подтверждена и существенно дополнена новыми данными из разных областей естествознания.

Условия и факторы зарождения жизни

В настоящее время известно, что все живые существа, во - первых, обладают совокупностью одних и тех же свойств и состоят из одних и тех же групп биологических полимеров, выполняющих определенные функции; во-вторых, последовательность биохимических превращений, обеспечивающих обменные процессы, у них сходна вплоть до деталей. Например, расщепление глюкозы, биосинтез белка и другие реакции у самых разных организмов протекают почти одинаково. Следовательно, вопрос о происхождении жизни сводится к тому, как и в каких условиях возникла столь универсальная система биохимических превращений [13, 20, 23, 29].

Несмотря на общность происхождения планет Солнечной системы, только на Земле появилась жизнь и достигла исключительного многообразия. Связано это с тем, что для возникновения жизни необходимы некоторые космические и планетарные условия. Во-первых, масса планеты не должна быть слишком большой, так как энергия атомного распада природных радиоактивных веществ может привести к перегреванию планеты или радиоактивному загрязнению среды, не совместимому с жизнью; слишком маленькие планеты не могут удержать около себя атмосферу, потому что сила притяжения их невелика. Во-вторых, планета должна вращаться вокруг звезды по круговой или близкой к круговой орбите, что позволит постоянно и равномерно получать от нее необходимое количество энергии. В-третьих, интенсивность излучения светила должна быть постоянной; неравномерность потока энергии будет препятствовать возникновению и развитию жизни, поскольку существование живых организмов возможно в узких температурных пределах. Всем этим условиям удовлетворяет Земля, на которой около 4,6 млрд лет назад начали создаваться условия для возникновения жизни.

На первых этапах формирования Земли тяжелые элементы перемещались к ее центру, а более легкие оставались на поверхности. Металлы и другие способные окисляться элементы соединялись с кислородом, и в атмосфере Земли не было свободного кислорода. Атмосфера состояла из свободного водорода и его соединений (H_2O , CH_4 , NH_3 , HCN), т.е. носила восстановительный характер. По мнению А.И. Опарина, это служило важной предпосылкой для возникновения органических молекул небиологическим путем. До середины XX в. многие ученые полагали, что эти соединения могут возникать только в живом организме. Именно поэтому их называли органическими соединениями в противоположность веществам неживой природы - минералам, названным неорганическими соединениями. Однако в 1953 г. Л.С. Миллер экспериментально доказал возможность абиогенного синтеза органических соединений из неорганических. Пропуская электрический разряд через смесь H_2 , H_2O , CH_4 и NH_3 , он получил набор нескольких аминокислот и органические кислоты. Позднее было установлено, что аналогичным путем в отсутствие кислорода могут быть синтезированы очень многие органические соединения, входящие в состав биологических полимеров (белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов).

Возможность абиогенного синтеза органических соединений подтверждается тем, что в космическом пространстве обнаружены цианистый водород, формальдегид, муравьиная кислота, метиловый и этиловый спирты и др. В некоторых метеоритах обнаружены жирные кислоты, сахара, аминокислоты. Все это свидетельствует о том, что достаточно сложные органические соединения могли возникать в условиях, существовавших на Земле 4,0-4,5 млрд лет назад.

Более 4 млрд лет назад извергалось множество вулканов с выбросом огромного количества раскаленной лавы, выделялись большие объемы пара, сверкали молнии. По мере остывания планеты водяные пары, находившиеся в атмосфере, конденсировались и обрушивались на Землю ливнями, образуя огромные водные пространства. Поскольку поверхность Земли в то время была горячей, вода испарялась, а затем, охлаждаясь в верхних слоях атмосферы, вновь выпадала на поверхность планеты. Это продолжалось в течение многих миллионов лет. В водах первичного океана были растворены компоненты атмосферы, различные соли. Кроме того, туда попадали и непрерывно образующиеся в атмосфере под действием жесткого ультрафиолетового излучения Солнца, высокой температуры в областях грозных разрядов и активной вулканической деятельности органические соединения - сахара, аминокислоты, азотистые основания, органические кислоты и др.

По мере смягчения условий на Земле стало возможным образование сложных органических соединений благодаря, вероятно, поглощению различных веществ на поверхности глин и других неорганических осадков, что повышало концентрацию реагирующих между собой веществ, в результате чего появились первичные биополимеры - полипептиды и полинуклеотиды.

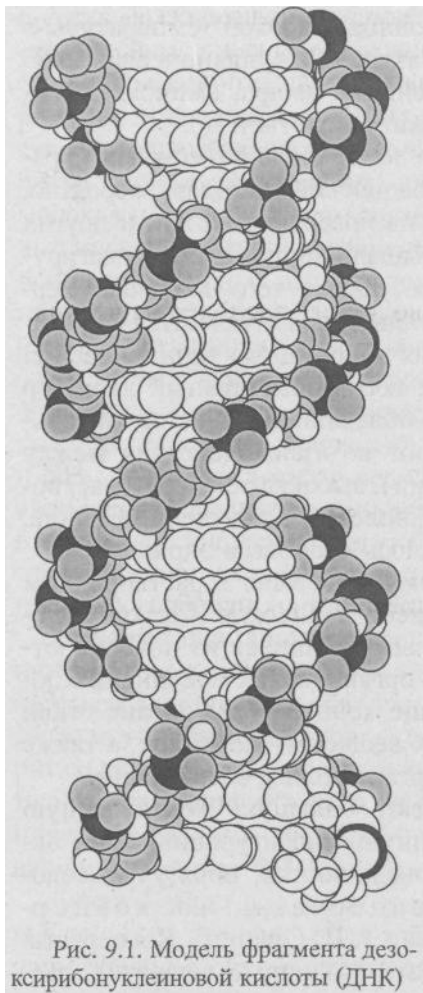
Таким образом, условиями для абиогенного возникновения органических соединений были: восстановительный характер атмосферы Земли (соединения, обладающие восстановительными свойствами, легко вступают во взаимодействия между собой и веществами-окислителями), высокая температура, грозные разряды и мощное ультрафиолетовое излучение Солнца, которое тогда еще не задерживалось озоновым экраном.

Первичный океан, по-видимому, содержал в растворенном виде различные органические и неорганические молекулы, попавшие в него из атмосферы и вымывавшиеся из поверхностных слоев Земли. Концентрация органических соединений постоянно увеличивалась, и в конце концов воды океана стали «бульоном» из белковоподобных веществ - пептидов, а также нуклеиновых кислот и других органических соединений.

Органические молекулы имеют большую молекулярную массу и сложную пространственную конфигурацию. Они окружены водной оболочкой и объединяются, образуя высокомолекулярные комплексы -- коацерваты, или коацерватные капли (как их называл А.И. Опарин). Коацерваты обладали способностью поглощать различные вещества, растворенные в водах первичного океана. В результате этого внутреннее строение коацервата изменялось, что вело или к его распаду, или к накоплению веществ, т.е. к росту и изменению химического состава, повышающему устойчивость коацерватной капли в постоянно меняющихся условиях.

В массе коацерватных капель происходил отбор наиболее устойчивых в данных конкретных условиях. Достигнув определенных размеров, материнская коацерватная капля могла распадаться на дочерние, но продолжали существовать только те дочерние коацерватные капли, которые, вступая в элементарные формы обмена со средой, сохраняли относительное постоянство своего состава. В дальнейшем они приобрели способность поглощать из окружающей среды не всякие вещества, а лишь те, которые обеспечивали их устойчивость, а также выделять наружу продукты обмена. Параллельно увеличивались различия между химическим составом капли и окружающей среды. В процессе длительного отбора (химической эволюции) сохранились лишь те коацерваты, которые при распаде на дочерние не утрачивали особенностей структуры, т.е. приобретали свойство самовоспроизведения. В ходе эволюции у важнейших составных частей коацерватных капель полипептидов — выработалась способность к каталитической активности, т.е. к значительному ускорению биохимических реакций, приводящих к превращению органических соединений, а полинуклеотиды оказались способными связываться друг с другом по принципу дополнения (комплиментарности) и,

следовательно, осуществлять неферментативный синтез дочерних полинуклеотидных цепей.



Следующий важный шаг предбиологической эволюции — объединение способности полинуклеотидов к самовоспроизведению с возможностью полипептидов ускорять течение химических реакций, так как удвоение молекул ДНК эффективнее осуществляется при участии белков, обладающих каталитической активностью. Однако стабильность «удачных» комбинаций аминокислот в полипептидах может обеспечиваться только при сохранении информации о них в нуклеиновых кислотах. Связь нуклеиновых кислот и белковых молекул в конце концов привела к возникновению генетического кода, т.е. такой организации молекул ДНК (рис. 9.1), в которой последовательность нуклеотидов стала служить информацией для построения конкретной последовательности аминокислот в белках.

Дальнейшая прогрессивная эволюция предбиологических структур была возможна только при усложнении обменных процессов и пространственном разделении различных синтетических и энергетических процессов внутри коацервата. Более прочную изоляцию внутренней среды от внешних воздействий по сравнению с той, которую обеспечивала водная оболочка, могла осуществить лишь биологическая мембрана. Вокруг коацерватов, богатых органическими соединениями, возникли слои липидов, отделивших коацерват от окружающей водной среды. В процессе эволюции липиды преобразовались в наружную мембрану, значительно повысившую жизнеспособность и устойчивость организмов. Появление мембраны, отделяющей содержимое коацервата от окружающей среды и обладающей способностью к избирательной проницаемости, предопределило направление дальнейшей химической эволюции по пути развития все более совершенных саморегулирующихся систем вплоть до возникновения первых клеток.

Начальные этапы биологической эволюции

Образование первичных клеточных организмов положило начало биологической эволюции. Считается, что отбор коацерватов и пограничный этап химической и биологической эволюции продолжались около 750 млн лет. В конце этого периода появились первые примитивные безъядерные клетки — прокариоты. Первые живые организмы — гетеротрофы - использовали в качестве источника энергии (пищи) органические соединения, растворенные в водах первичного океана. Поскольку в атмосфере Земли не было свободного кислорода, гетеротрофы имели анаэробный (бескислородный) тип обмена веществ, эффективность которого невысока. Увеличение количества гетеротрофов привело к истощению вод первичного океана, где оставалось все меньше готовых органических веществ, которые можно было использовать для питания.

В более выгодном положении оказались организмы, которые развили способность использовать энергию солнечного излучения для синтеза органических веществ из неорганических — фотосинтеза. Таким образом, появился принципиально новый источник питания. Например, современные фотосинтезирующие пурпурные бактерии благодаря солнечному излучению окисляют сероводород до сульфатов. Высвобождающийся в результате реакции окисления водород идет на восстановление

диоксида углерода до углеводов с образованием воды. Использование органических соединений в качестве источника (донора) водорода привело к появлению автотрофных организмов (способных синтезировать из неорганических веществ все необходимые для жизни органические вещества).

Следующий шаг эволюции связан с развитием у фотосинтезирующих организмов способности использовать воду в качестве источника водорода для синтеза органических молекул. Усвоение углекислого газа такими организмами сопровождалось выделением кислорода и включением углерода в органические соединения. Так в атмосфере Земли начал накапливаться кислород. Первыми фотосинтезирующими организмами, выделяющими в атмосферу кислород, были цианобактерии (цианеи).

Переход от первичной атмосферы к среде, содержащей кислород, представляет собой важнейшее событие как в эволюции живых существ, так и в преобразовании минералов. Во-первых, кислород, выделяющийся в атмосферу, в верхних ее слоях под действием мощного ультрафиолетового излучения Солнца превращается в активный озон (O_3), который способен поглощать большую часть жестких коротковолновых ультрафиолетовых лучей, разрушительно действующих на сложные органические соединения. Во-вторых, в присутствии свободного кислорода возможен кислородный тип обмена веществ, энергетически более выгодный. Образование свободного кислорода вызвало к жизни многочисленные новые формы аэробных живых организмов и более широкое использование ими ресурсов окружающей среды.

В результате взаимопользования симбиоза различных прокариотических (не обладающих оформленным клеточным ядром) клеток возникли ядерные, или эукариотические, организмы (эукариоты). Основой симбиоза была, вероятно, гетеротрофная амёбоподобная клетка. Питанием для нее служили более мелкие клетки и, в частности, дышащие кислородом аэробные бактерии, способные функционировать и внутри клетки-хозяина, производя энергию. Те крупные амёбовидные клетки, в теле которых аэробные бактерии оставались невредимыми, оказались в более выгодном положении, чем клетки, получавшие энергию анаэробным путем — брожением. В дальнейшем бактерии-симбионты превратились в митохондрии (органеллы клеток, где протекают реакции, обеспечивающие клетки энергией). Когда к поверхности клетки-хозяина прикрепилась вторая группа симбионтов - жгутикоподобных бактерий, сходных с современными спирохетами, подвижность и способность к нахождению пищи такого организма резко возросли. Так возникли примитивные животные клетки - предшественники нынешних жгутиковых простейших.

Образовавшиеся подвижные эукариоты путем симбиоза с фотосинтезирующими (возможно, цианобактериями) организмами дали водоросль, или растение, причем строение пигментного комплекса у фотосинтезирующих анаэробных бактерий сходно с пигментами зеленых растений. Такое сходство указывает на возможность эволюционного преобразования фотосинтезирующего аппарата анаэробных бактерий в аналогичный аппарат зеленых растений.

Изложенную гипотезу о возникновении эукариотических клеток через ряд последовательных симбиозов приняли многие современные ученые, поскольку она хорошо обоснованна. Во-первых, одноклеточные водоросли и сейчас легко вступают в союз с животными - эукариотами; например, в теле инфузории туфельки обитает водоросль хлорелла. Во-вторых, некоторые органоиды клеток — митохондрии и пластиды — по строению ДНК очень похожи на прокариотические клетки-бактерии и цианобактерии.

Возможности эукариот по использованию среды существенно выше, чем у прокариот, поскольку они имеют диплоидный (двойной) набор генов. У прокариот любая мутация сразу проявляется в виде признака. Если мутация полезна, организм продолжает существовать, если вредна - он погибает, т.е. прокариоты непрерывно приспосабливаются к изменениям окружающей среды, но лишены возможности формировать крупные

структурные изменения. Появление двойного набора генов у эукариот сделало возможным накопление непроявляющихся фенотипических мутаций и, следовательно, формирование резерва наследственной изменчивости - основы эволюционных преобразований.

Возможности одноклеточных в освоении среды обитания были ограничены, так как дыхание и питание простейших осуществляются через поверхность тела. При увеличении размеров клетки одноклеточного организма его поверхность возрастает по квадратичному закону, а объем - по кубическому, поэтому биологическая мембрана, окружающая клетку, не могла обеспечивать кислородом слишком большой организм. Иной эволюционный путь осуществился позже, около 2,6 млрд лет назад, когда появились многоклеточные организмы, эволюционные возможности которых значительно шире.

Первая гипотеза о происхождении многоклеточных организмов принадлежит Э. Геккелю (вторая половина XIX в.). При ее построении он исходил из исследований эмбрионального развития ланцетника (род животных класса бесчерепных), проведенных А.О. Ковалевским и другими зоологами. Геккель полагал, что начальная стадия развития зародыша (стадия зиготы) соответствует одноклеточным предкам, а стадия развития зародыша многоклеточных животных в процессе бластуляции (заключительной фазе периода дробления яйца) — шарообразной колонии жгутиковых. В дальнейшем, согласно этой гипотезе, произошло впячивание (инвагинация) одной из сторон шарообразной колонии и образовался гипотетический двухслойный организм, названный Геккелем гастреей. Теория Геккеля сыграла важную роль в истории науки, способствуя утверждению монофилетических (т.е. из одного корня) представлений о происхождении многоклеточных.

Основу современных представлений о возникновении многоклеточных организмов составляет гипотеза фагоцителлы И.И. Мечникова. По его представлениям, многоклеточные произошли от колониальных простейших - жгутиковых. Пример такой организации - ныне существующие колониальные жгутиковые типа вольвокс. Среди клеток колонии выделяются движущиеся, снабженные жгутиками, фагоцитирующие добычу и уносящие ее внутрь колонии, и половые, функцией которых является размножение. Так колония превратилась в примитивный, но целостный многоклеточный организм. О справедливости гипотезы фагоцителлы говорит строение примитивного многоклеточного организма - трихоплакса, который по строению соответствует гипотетической фагоцителле и поэтому должен быть выделен в особый тип животных - фагоцителлоподобных, заполняющих брешь между многоклеточными и одноклеточными организмами [18].

Таким образом, в настоящее время большинство исследователей в области естествознания признает, что возникновение жизни на Земле связано с длительным процессом химической эволюции. Формирование структуры, отграничивающей организм от окружающей среды, — мембраны с присущими ей свойствами способствовало появлению живых организмов и ознаменовало начало биологической эволюции. Как простейшие живые организмы, возникшие около 3 млрд лет назад, так и устроенные более сложно в основе своей структурной организации имеют клетку.

§ 9.3. Эволюционное учение в биологии

Становление эволюционного учения

Развитие эволюционных идей в биологии имеет достаточно длительную историю [И, 12, 19, 20, 26, 33, 38]. Так, уже в античности Анаксимен (VI в. до н.э.) говорил о внезапном превращении видов, а Эмпедокл (V в. до н.э.) считал, что сложные организмы образуются на основе случайного сочетания отдельных органов, причем нежизнеспособные сочетания вымирают, а удачные сохраняются. В средние века представления о живой природе базировались на теории постепенного развития живых форм (от простого к сложному), созданной Аристотелем (IV в. до н.э.).

Начиная с XIV в. число ученых, принимавших идеи эволюции органического мира, постоянно возрастало. В XVIII в. развитию этих идей способствовало создание систематики растительного и животного мира *К. Линнеем* (хотя сам автор этой систематики выступал в защиту постоянства видов и креационизма), включившем в нее всех известных тогда животных и все известные растения. Он описал более 8000 видов растений, установил единообразную терминологию и порядок описания видов. В основу своей классификации он положил принцип иерархичности, т.е. соподчиненности, таксонов (систематических единиц). В системе Линнея самым крупным таксоном был класс, самым мелким - вид.

В конце XVIII - начале XIX в. стали складываться собственно эволюционные концепции, характеризующиеся использованием исторического подхода к объяснению целесообразности живого. Считается, что первой целостной эволюционной концепцией является ламаркизм, тесно связанный с развитием трансформизма в истории эволюционного учения. *Ж.Б. Ламарк* высказал идею о том, что организмы изменчивы, а виды (и другие таксономические категории) условны и постепенно преобразуются в новые виды. Общей тенденцией исторических изменений организмов он считал постепенное совершенствование их организации, движущей силой которой является изначальное (заложенное Творцом) стремление природы к прогрессу. Более того, организмам присуща изначальная способность целесообразно реагировать на изменения внешних условий, а изменения организмов, приобретенные в течение жизни в ответ на изменения условий, наследуются. Таким образом, в своей теории Ламарк впервые объединил идею изменчивости видов и идею прогрессивной эволюции.

Ж. Кювье разработал теорию катастроф, используя палеонтологическую летопись Земли. Он истолковывал ископаемые останки как результаты «катастроф» в ее истории, порождающих новые виды. Важно отметить, что в геологическом прошлом Земли действительно были определенные отрезки времени, когда сравнительно быстро (по геологическим меркам) исчезали одни виды и возникали другие. Это заставляет периодически возвращаться к идеям Кювье на другом уровне познания в рамках теории неокатастрофизма.

Величайшим событием в изучении феномена жизни и ее эволюции стала теория *Ч. Дарвина*. В своей работе «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859) он, обобщив отдельные эволюционные идеи, создал стройную теорию эволюции. Движущими силами эволюции он считал наследственную изменчивость и естественный отбор, а элементарной единицей эволюции - вид. Дарвин сформулировал следующие положения. Во-первых, изменчивость свойственна любой группе животных и растений и организмы различаются во многих отношениях. Во-вторых, число организмов каждого вида, рождающихся на свет, больше того их числа, которое может найти пропитание и выжить, однако численность каждого вида в естественных условиях довольно постоянна. В-третьих, поскольку рождается больше особей, чем может выжить, происходит борьба за существование, конкуренция за пищу и местообитание. В-четвертых, изменения организма, облегчающие его выживание в определенной среде, дают своему обладателю преимущество перед другими организмами, менее приспособленными к внешним условиям; идея выживаемости наиболее приспособленных организмов является ядром теории естественного отбора. В-пятых, выживающие особи дают начало следующему поколению, благодаря чему «удачные» положительные изменения передаются последующим поколениям.

Параллельно с теорией Дарвина развивались концепции, которые частично или полностью строились на других идеях. Так, в конце XIX — начале XX в. сложилась теория *неоламаркизма*, представленная тремя основными течениями: ортоламаркизм, механоламаркизм и психоламаркизм. Представители ортоламаркизма полагали, что направленность эволюции обусловлена внутренними изначальными свойствами организмов. Эти взгляды родственны идеям автогенезиса, который рассматривает

эволюцию как процесс развертывания предсуществующих задатков, носящий целенаправленный характер и происходящий на основе изначальных внутренних потенциальных возможностей.

Механоламаркизм объясняет эволюционные преобразования организмов их изначальной способностью целесообразно реагировать на изменения внешней среды (эктогенез), изменяя структуры и функции. Эта концепция основана на признании так называемой адекватной соматической индукции, т.е. адаптивные модификации являются эволюционными новообразованиями и наследуются. Следует заметить, что эктогенез противопоставлялся автогенезу.

Психоламаркизм рассматривает в качестве причин эволюции сознательные волевые акты организмов, которые присущи не только животным, но и составляющим их клеткам. Поэтому эволюция трактуется как постепенное усиление роли сознания в развитии от примитивных существ до разумных форм жизни. Данная концепция способствовала развитию учения о панпсихизме (всеобщей одушевленности).

Из других концепций конца XIX - начала XX в., которые не опирались на теорию Дарвина, следует упомянуть телеогенез, сальтационизм, генетический антидарвинизм. *Телеогенез* (телеологическая концепция эволюции) в сущности близок ортоламаркизму, так как исходит из идеи Ламарка о внутреннем стремлении живых организмов к прогрессу; к представителям этой теории относится К. Бэр - основатель эмбриологии. *Сальтационизм* является модификацией телеогенеза и близок к теории катастрофизма. Суть его сводится к тому, что на начальном этапе зарождения жизни возник весь план будущего развития, а влияние внешних условий определяло лишь частные моменты эволюции. Эволюционные события происходят в результате скачкообразных изменений (сальтаций), прежде всего преобразований эмбриогенеза. *Генетический антидарвинизм* также имеет несколько течений: мутационизм, предадаптационизм, гибридогенез и др. В теории мутационизма мутационная изменчивость отождествлялась с эволюционными преобразованиями, что исключало необходимость процесса отбора как главной причины эволюции. Согласно теории предадаптационизма, приспособление возникает в результате не отбора, а единичной мутации, случайно оказавшейся полезной. Гибридогенез основан на представлении о постоянстве генов и утверждении, что комбинативная изменчивость - единственная причина эволюции.

Основные положения синтетической теории эволюции

Синтетическая теория эволюции — дальнейшее развитие дарвинизма. Она поддерживается большинством современных биологов [1, 3, 12, 14, 20, 26, 30, 33, 34, 38]. Эта теория включает анализ микро- и макроэволюции. Под микроэволюцией понимают совокупность эволюционных процессов, протекающих в популяциях и видах и приводящих к изменениям генофондов этих популяций и образованию новых видов. Считается, что микроэволюция проходит на основе мутационной изменчивости под контролем естественного отбора. Мутации служат единственным источником появления качественно новых признаков, а отбор - единственным творческим фактором микроэволюции, направляющим элементарные эволюционные изменения по пути формирования адаптации организмов к изменяющимся условиям внешней среды. На характер процессов микроэволюции оказывают влияние колебания численности популяций («волны жизни»), обмен генетической информацией между ними, их изоляция и дрейф генов. Микроэволюция ведет либо к изменению всего генофонда биологического вида как целого (филетическая эволюция), либо — при изоляции каких-либо популяций - к их обособлению от родительского вида в качестве новых форм (видообразование).

Под макроэволюцией понимают эволюционные преобразования, ведущие к формированию таксонов более высокого ранга, чем вид (родов, семейств, отрядов, классов и т.д.). Считают, что макроэволюция не имеет специфических механизмов и осуществляется только посредством процессов микроэволюции, будучи их

интегрированным выражением. Накапливаясь, микроэволюционные процессы выражаются внешне в макроэволюционных явлениях, т.е. макроэволюция представляет собой обобщенную картину эволюционных изменений. Поэтому на уровне макроэволюции обнаруживаются общие тенденции, направления и закономерности эволюции живой природы, которые не поддаются наблюдению на уровне микроэволюции.

Основные положения синтетической теории эволюции обычно сводятся к четырем:

◇ главным фактором эволюции считается естественный отбор, интегрирующий и регулирующий действие всех остальных факторов (онтогенетической изменчивости, мутагенеза, гибридизации, миграции, изоляции, пульсации численности и др.);

◇ эволюция протекает дивергентно, постепенно, посредством отбора случайных мутаций, а новые формы образуются через наследственные изменения (сальтации, жизнечность которых определяется отбором);

◇ эволюционные изменения случайны и ненаправленны; исходным материалом эволюции являются мутации; исходная организация популяции и изменения внешних условий ограничивают и канализируют наследственные изменения в направлении неограниченного прогресса;

◇ макроэволюция, ведущая к образованию надвидовых групп, осуществляется только посредством процессов микроэволюции, и каких-либо специфических механизмов возникновения новых форм жизни не существует.

В синтетической теории эволюции выделяют такие элементарные явления и факторы, как популяция - элементарная эволюционная структура; изменение генотипического состава популяции — элементарное эволюционное явление; генофонд популяции - элементарный эволюционный материал; мутационный процесс, «волны жизни», изоляция, естественный отбор - элементарные эволюционные факторы, и рассматривают движущий, дизруптивный и стабилизирующий отбор.

Движущий отбор благоприятствует лишь одному направлению изменчивости и не благоприятствует остальным ее вариантам. Под контролем движущего отбора генофонд популяции изменяется как целое и не происходит дивергенции дочерних форм. При этом в генофонде накапливаются и распространяются мутации, обеспечивающие изменение фенотипа в данном направлении. В популяции от поколения к поколению происходит изменение признака в определенном направлении.

Например, у некоторых видов животных возникает устойчивость к ядохимикатам. Широко известны случаи, когда у серых крыс и «вредных» насекомых вырабатывалась устойчивость к некоторым ядам. Это объясняется тем, что при воздействии ядов выживают особи, случайно оказавшиеся невосприимчивыми к этим ядам.

Дизруптивный отбор благоприятствует двум или нескольким направлениям изменчивости, но не благоприятствует среднему (промежуточному) состоянию признака. При действии такого отбора обычно возникает несколько отчетливо различающихся фенотипических форм (полиморфизм). Если разные направления дизруптивного отбора обусловлены различиями условий внешней среды в разных частях ареала данного вида, то населяющие их популяции приобретают устойчивые фенотипические и генотипические различия, имеющие важное приспособительное значение. При отсутствии возможности скрещивания между такими популяциями в результате изоляции друг от друга происходит их дальнейшая дивергенция вплоть до обособления в качестве новых видов.

Например, на океанических островах, где часты сильные ветры, насекомые с нормальными крыльями сдуваются в океан и погибают, а особи с повышенными аэродинамическими свойствами и с рудиментарными (остаточными, утратившими свое основное значение) крыльями сохраняются.

Стабилизирующий отбор благоприятствует сохранению в популяции оптимального в данных условиях фенотипа, который становится преобладающим. Этот отбор действует против проявления фенотипической изменчивости и наблюдается при длительном сохранении постоянных условий внешней среды. При длительном действии

стабилизирующего отбора фенотипы некоторых видов организмов могут оставаться практически неизменными в течение миллионов лет.

Именно благодаря стабилизирующему отбору сохранились такие «живые ископаемые», как реликтовый таракан, мало изменившийся за последние 300-350 млн лет; кистеперая рыба латимерия, родственники которой были распространены в палеозое; голосеменное растение гинкго, появившееся в юрский период, и т.д. Другой пример - высокая устойчивость размеров и формы растений, опыляемых насекомыми: необходимо, чтобы цветки соответствовали строению и размерам тела насекомых-опылителей, в противном случае цветки не будут образовывать семян.

В конечном счете эволюцию можно представить как непрерывный процесс возникновения и развития новых адаптации (приспособлений) — совокупности физиологических, поведенческих, популяционных и других особенностей биологического вида, обеспечивающих возможность специфического образа жизни особей в определенных условиях внешней среды. Некоторые приспособления имеют частное значение, т.е. действуют в конкретных условиях среды; другие дают возможность выйти некоторой группе особей в новую адаптивную зону (тип местообитаний с определенной совокупностью экологических условий) и ведут к быстрому эволюционному развитию групп особей, к более высокому уровню организации.

§ 9.4. Развитие жизни на Земле

Криптозойский зон. Архейская и протерозойская эры

Остановимся на вопросе о том, как именно, по современным представлениям, развивалась жизнь на нашей планете [8, 14, 20, 25, 27].

В архейской эре возникли первые живые организмы. Они в качестве пищи использовали органические соединения «первичного бульона» (см. § 9.2). Важнейший этап эволюции жизни на Земле связан с возникновением фотосинтеза, впоследствии обусловившего разделение органического мира на растительный и животный. Цианеи - первые фотосинтезирующие организмы, прокариотические синезеленые «водоросли» и появившиеся затем эукариотические зеленые водоросли выделяли в атмосферу из океана свободный кислород, что способствовало возникновению бактерий, способных жить в аэробной среде. По-видимому, на границе архейской и протерозойской эр произошли еще два крупных эволюционных события: появились половой процесс и многоклеточность. Пути дальнейших эволюционных преобразований первых многоклеточных разошлись: одни перешли к неподвижному образу жизни и превратились в организмы типа губок; другие стали перемещаться по субстрату с помощью ресничек ~ от них произошли плоские черви; третьи сохранили плавающий образ жизни, приобрели рот, дали начало кишечнополостным.

В протерозойской эре в морях обитало много разнообразных водорослей, в том числе прикрепленных ко дну форм. Суша еще была безжизненной, но по берегам водоемов начались почвообразовательные процессы в результате деятельности бактерий и микроскопических водорослей. В протерозойских отложениях находят остатки представителей вполне сформировавшихся типов животных.

Фанерозойский зон. Палеозойская эра

В начале палеозойской эры *растения* населяют в основном моря; в ордовике-силуре появляются первые наземные растения, занимающие промежуточное положение между водорослями и наземными сосудистыми растениями. Так, псилофиты уже имели проводящую (сосудистую) систему, слабодифференцированные ткани, могли укрепляться в почве, но у них отсутствовали настоящие корни (как и настоящие побеги). Дальнейшая эволюция растений на суше шла в направлении расчленения тела на вегетативные органы и ткани, совершенствование сосудистой системы (обеспечивающей быстрое передвижение

воды на большую высоту). В засушливом девоне широко распространяются хвощи, плауны, папоротникообразные. Еще большего развития достигает наземная растительность в каменноугольном периоде (карбоне), характеризующемся влажным и теплым климатом на протяжении всего года. Появляются голосеменные растения, произошедшие от семенных папоротников.

Переход к семенному размножению дал растениям много преимуществ, способствовавших их широкому расселению: зародыш в семенах был защищен от неблагоприятных условий оболочками и обеспечен пищей, у него стало диплоидное число хромосом, т.е. два сходных их набора. У части голосеменных (хвойных) процесс полового размножения уже не был связан с водой: опыление осуществлялось ветром, а семена имели приспособления для распространения животными. Крупные споровые растения вымерли в пермском периоде в связи со значительным иссушением и похолоданием климата.

Животный мир развивался чрезвычайно бурно и был представлен большим количеством разнообразных форм. Пышного расцвета достигла жизнь в кембрийских морях: губки, множество членистоногих, кораллов, иглокожие, моллюски, громадные членистоногие (хищные ракоскорпионы).

В геологических отложениях ордовика обнаружены остатки животных, имевших внутренний осевой скелет, - бесчелюстных позвоночных, отдаленными потомками которых являются современные миноги и миксины. Бесчелюстные питались организмами, обитавшими в илистом дне рек и озер, засасывая пищу ртом. У этих организмов (рис. 9.2) рот представлял собой просто отверстие, ведущее в пищеварительный тракт; передний отдел его был пронизан жаберными щелями, между которыми располагались опорные хрящевые жаберные дуги. В результате отбора совершенствовался аппарат для захвата живой добычи, гораздо более питательной по сравнению с илистым детритом: третья пара жаберных дуг превратилась в челюсти, усаженные зубами; жаберная мускулатура преобразовалась в челюстную и подъязычную. Так на основе существовавших структур - скелетных жаберных дуг, служивших опорой органов дыхания, возник ротовой аппарат хватательного типа. Новообразовавшиеся челюсти оказались очень стойким органом и сохранились в последующей эволюции позвоночных.



Рис. 9.2. План строения хордовых животных [20]

В силурийском периоде на сушу вместе с псилофитами вышли первые дышащие воздухом животные - членистоногие. В водоемах продолжалось бурное развитие низших позвоночных. Предполагается, что позвоночные возникли в мелких пресноводных водоемах и лишь затем переселились в моря.

В девоне позвоночные представлены тремя группами: двоякодышащими, лучеперыми и кистеперыми рыбами. В конце девона появились насекомые (кормовая база для будущих наземных позвоночных). Кистеперые рыбы были типично водными животными, но могли дышать атмосферным воздухом с помощью примитивных легких, представлявших собой выпячивания стенки кишки.

Поскольку уровень воды в реках и водоемах часто менялся, а многие водоемы полностью высыхали или промерзали зимой, что создавало неблагоприятную среду для рыб, то возникновение легких, т.е. приобретение способности дышать атмосферным

воздухом, можно расценивать как своеобразную адаптацию к недостатку кислорода в воде. При пересыхании водоемов животные могли спастись, либо зарываясь в ил, либо мигрируя в поисках воды. По первому пути развивались двоякодышащие рыбы, строение которых почти не изменилось со времен девона и которые обитают и сейчас в мелких пересыхающих водоемах Африки. Лучеперые рыбы, имея плавники, поддерживающиеся отдельными костными лучами, широко распространились, и в настоящее время это самый большой по количеству видов класс позвоночных.

Приспособиться к жизни на суше смогли только кистеперые рыбы благодаря мускулистым конечностям и легким. В конце девона кистеперые рыбы дали начало первым земноводным - стегоцефалам.

На протяжении каменноугольного периода стегоцефалы жили, питались и размножались в воде. Они выползали на сушу, но не совершали сколько-нибудь значительных миграций. На суше у стегоцефалов не было врагов и имелся обильный корм - черви, членистоногие, достигавшие крупных размеров. Многие группы земноводных переходили к жизни на суше и возвращались в воду только для размножения. Среди стегоцефалов выделилась группа с хорошо развитыми конечностями и подвижной системой двух первых позвонков; они размножались в воде, но уходили по суше дальше амфибий, питались наземными животными, а затем и растениями. От них произошли рептилии и млекопитающие.

Пермский период отмечен поднятием суши, а также иссушением и похолоданием климата. Амфибии вымирали как из-за ухудшения климатических условий, так и вследствие истребления подвижными хищными рептилиями. Рептилии приобрели свойства, позволившие им порвать связь с водной средой: внутреннее оплодотворение и накопление желтка в яйцеклетке, что сделало возможным размножение на суше; ороговение кожи и более сложное строение почки, что способствовало резкому уменьшению потерь воды организмом; наличие грудной клетки, что обеспечило эффективный тип дыхания - всасывающий. Отсутствие конкуренции обусловило широкое распространение рептилий на суше и возвращение части их в водную среду.

Фанерозойский зон. Мезозойская и кайнозойская эры

Мезозойская эра характеризуется установлением теплого климата, близкого к современному тропическому. В триасе вымирают гигантские папоротники, древовидные хвощи, плауны, а расцвета достигают голосеменные растения.

В юрском периоде вымирают семенные папоротники и появляются первые покрытосеменные растения, постепенно распространившиеся на все материки вследствие ряда их преимуществ: покрытосеменные имеют развитую проводящую систему, цветок привлекает насекомых-опылителей, что обеспечивает надежность перекрестного опыления, зародыш снабжается запасами пищи и защищен оболочками и т.д. В животном мире достигают расцвета насекомые и рептилии; последние занимают господствующее положение и представлены большим количеством форм. В частности, в этот период появляются летающие ящеры, завоевавшие воздушную среду.

В меловом периоде специализация пресмыкающихся (рептилий) продолжается, они достигают громадных размеров; так масса некоторых динозавров превышала 50 т. Начинается параллельная эволюция цветковых растений и насекомых-опылителей. В конце мелового периода наступает похолодание, в результате чего сокращается ареал околводной растительности; вымирают растительоядные, за ними хищные динозавры (крупные рептилии сохраняются лишь в тропическом поясе); в морях вымирают многие формы беспозвоночных и морские ящеры; наиболее приспособленными оказываются теплокровные животные - птицы и млекопитающие.

От представителей одного из отрядов рептилий произошли птицы. Полное разделение артериального и венозного кровотока обусловило их теплокровность. Они широко распространились по суше и дали начало множеству форм.

Появление млекопитающих связано с рядом крупных усложнений организации и функций организмов, возникших у представителей другого отряда пресмыкающихся. Млекопитающие возникли в триасе, но не могли конкурировать с хищными динозаврами и на протяжении 100 млн лет занимали подчиненное положение.

В начале *кайнозойской эры* установился теплый равномерный климат, а около 2 млн лет назад наступило оледенение значительной части Земли. Теплолюбивая растительность отступила на юг или вымерла, появилась холодоустойчивая травяная и кустарниковая растительность, на больших территориях леса сменились степью, полупустыней и пустыней, сформировались современные растительные сообщества.

Развитие животного мира характеризуется дальнейшей дифференциацией насекомых, интенсивным видообразованием у птиц и чрезвычайно быстрым прогрессивным развитием млекопитающих. При этом млекопитающие представлены тремя подклассами: однопроходными (утконос, ехидна), которые возникли независимо от других млекопитающих еще в юрском периоде от звероподобных рептилий; сумчатыми и плацентарными, которые произошли от общего предка в меловом периоде и сосуществовали до «взрыва» в эволюции плацентарных, в результате чего они вытеснили сумчатых с большинства континентов.

От наиболее примитивных — насекомоядных млекопитающих произошли первые хищные, давшие начало копытным, и приматы. В палеогене млекопитающие начинают завоевывать море (китообразные, ластоногие и др.), а к концу неогена встречаются уже все современные семейства млекопитающих. Одна из групп приматов (австралопитеки) стала родоначальницей ветви, ведущей к роду Человек.

Оледенения четвертичного периода, достигшие максимального распространения около 250 тыс. лет назад, привели к развитию холодоустойчивой фауны. На Северном Кавказе и в Крыму обитали мамонты, шерстистые носороги, северные олени, песцы, полярные куропатки. Образование больших масс льда вызвало понижение уровня Мирового океана, в результате чего обнажились материковые отмели Северной Америки и Северной Евразии и появились сухопутные «мосты», соединявшие Североамериканский континент с Евразийским (на месте нынешнего Берингова пролива), а также Британские острова с Европейским материком и т.д. По таким «мостам» происходил обмен видами, обусловивший формирование современной нам фауны материков. Изменения климата в четвертичном периоде кайнозойской эры оказали большое влияние на эволюцию предков человека.

§ 9.5. Человек: феномен, происхождение, биоэтика

Человек в системе животного мира

Человек — общественное существо, обладающее сознанием, разумом, субъект общественно-исторической деятельности и культуры. Человек познает и изменяет мир и самого себя, творит культуру и собственную историю. Сущность человека, его происхождение и назначение, место человека в мире были и остаются центральными проблемами философии, религии, науки и искусства.

Человек возник на Земле в ходе длительного и неравномерного эволюционного процесса — антропогенеза, многие этапы которого до конца не ясны [2, 21, 31, 38]. На планете Земля людям принадлежит уникальное место среди других существ, что обусловлено приобретением ими в процессе антропогенеза особого качества — социальной сущности. Это означает, что уже не биологические механизмы, а в первую очередь общественное устройство, производство, труд обеспечивают выживание, расселение, благополучие человечества. Однако социальность не противопоставляет людей остальной живой природе. Приобретение этого качества указывает лишь на то, что после некоторого момента развитие представителей вида *Homo sapiens* подчиняется законам не только биологического, но и в существенной степени общественного развития.

Однако человек остается включенным в систему органического мира. Люди составляют своеобразный, но неотъемлемый компонент биосферы. Вследствие животного происхождения жизнедеятельность человеческого организма основывается на фундаментальных биологических механизмах, которые составляют его биологическое наследство.

Существует несколько точек зрения на соотношение социального и биологического в онтогенезе человека. Концепция панбиологизма исходит из того, что индивидуальное развитие человека целиком обусловлено генами, т.е. биологическими факторами. Согласно концепции пансоциологизма, все люди рождаются с одинаковыми биологическими задатками, а основную роль в развитии их способностей играет социальная среда. Еще одна концепция утверждает, что наследуются не сами способности как таковые, а лишь их задатки, в большей или меньшей степени проявляющиеся и реализующиеся в условиях социальной среды.

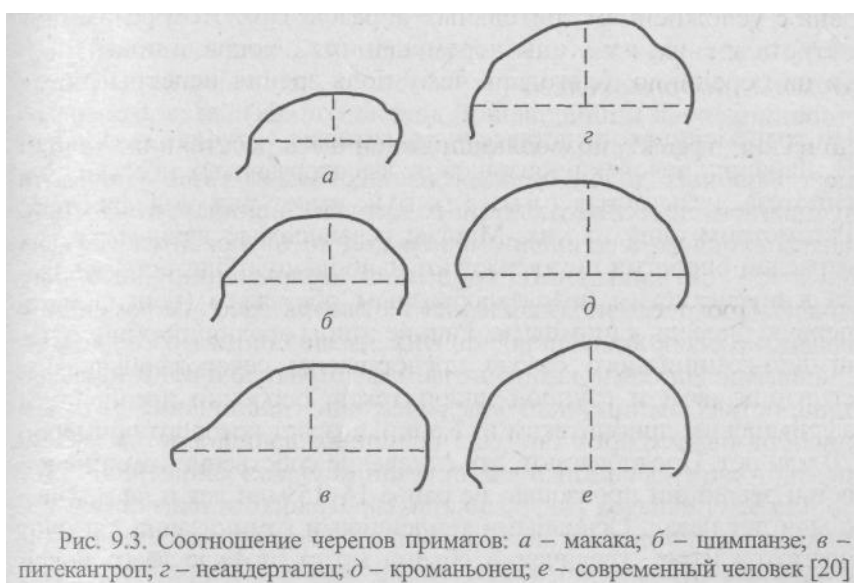
Общие принципы строения организма человека заложены в период возникновения первой клетки и формирования генетического кода. План строения тела человека такой же, как у всех представителей типа хордовых (см. рис. 9.2). Принадлежность человека к подтипу позвоночных определяется наличием осевого скелета в виде позвоночника, покровных тканей (черепа), защищающих переднюю часть нервной трубки, двух пар конечностей. Четырехкамерное сердце и редукция одной из двух дуг аорты, теплокровность, сильно развитая кора больших полушарий головного мозга, млечные железы, волосы на поверхности тела, дифференциация зубов на резцы, клыки и коренные свидетельствуют о принадлежности человека к классу млекопитающих. Зародыш человека развивается в теле матери и питается через плаценту, что определяет его положение в подклассе плацентарных. Такие признаки, как конечности хватательного типа (первый палец противопоставлен остальным), замена когтей плоскими ногтями, наличие одной пары млечных желез, у мужских особей семенники, спущенные в мошонку, хорошо развитые ключицы, замена молочных зубов на постоянные в ходе онтогенеза, наличие слепой кишки и др., позволяют отнести человека к отряду приматов. Эти признаки во многом предопределили ход эволюции отряда, приведшей к возникновению человека.

Характерные признаки человека как представителя отряда приматов хорошо объясняются приспособлением его к окружающей среде. Так, приспособления к древесному образу жизни у предка человека обусловили: способность его рук к тонким и разнообразным движениям, а также характер развития пищеварительной системы и снижение рождаемости. Последнее привело к расширению возможностей обучения потомства.

Особое значение имеет развитие у приматов специфического органа - мозга. Передвижение по деревьям в разных направлениях, на различные расстояния и с меняющейся скоростью, новой ориентировкой и новым прицелом перед прыжком определило высокое развитие ряда отделов мозга, особенно двигательных. Объем мозга в целом возрастает главным образом за счет коры больших полушарий, в которой увеличивается число борозд (извилин). Большая затылочная доля мозга связана с усложнением зрительных образов. При этом возрастает острота зрения, глазницы перемещаются с боковой поверхности на переднюю, благодаря чему поля зрения перекрываются и формируется бинокулярное зрение, которое дает стереоскопический эффект, позволяющий оценивать расстояния. Усложнение лобных долей объясняется необходимостью управлять мышечной деятельностью и голосовым аппаратом. Потребность в более совершенном различении звуков, нужном для звуковой сигнализации, привела к усложнению височных долей. Прогрессивно развивался мозжечок. Все эти изменения вызвали совершенно новое явление в эволюции мозга - доминирование (преобладание) коры больших полушарий над деятельностью низших мозговых центров. Увеличение мозга и преобразование органов чувств сопровождалось ростом размеров лобной, теменной и затылочной костей черепа (рис. 9.3).

Такие признаки, как редукция хвостового отдела позвоночника, наличие аппендикса, большое количество извилин коры полушарий головного мозга, четыре основные группы крови, развитие мимической мускулатуры и др., позволяют отнести человека к подотряду человекообразных обезьян (антропоидов), или высших приматов. В этом подотряде выделяют надсемейство гоминид, которое включает человека и человекообразных обезьян. Наконец, семейство гоминид объединяет вид «человек разумный» и ископаемых людей (питекантропы, синантропы, неандертальцы и некоторые австралопитеки).

Особое значение для доказательства животного происхождения человека как результата длительной эволюции позвоночных имеет следующее обстоятельство. В эмбриональном периоде развития у зародыша человека закладываются двухкамерное сердце, шесть пар жаберных дуг, хвостовая артерия - признаки рыбообразных предков. От амфибий человек унаследовал плавательные перепонки между пальцами, которые имеются у зародыша. У новорожденных и детей до 5 лет наблюдается несовершенная терморегуляция, что указывает на происхождение от животных с непостоянной температурой тела. Головной мозг плода гладкий, без извилин, как у примитивных млекопитающих мезозойской эры. У шестинедельного зародыша имеется несколько пар млечных желез, закладывается также хвостовой отдел позвоночника, который затем редуцируется и превращается в копчик.



В XIX в. Ф. Мюллер и Э. Геккель сформулировали *биогенетический закон*, согласно которому *онтогенез* (индивидуальное развитие) *каждой особи есть краткое и быстрое повторение филогенеза* (исторического развития) *вида, к которому эта особь относится*. В соответствии с этим законом рассмотренные выше и многие другие признаки, возникающие у человека в эмбриональном периоде развития, могут быть интерпретированы как повторение признаков предков, причем эмбрионы всех позвоночных животных на ранних стадиях развития более сходны друг с другом, чем на более поздних.

Человек как вид имеет специфические, присущие только ему особенности: прямохождение, мощно развитую мускулатуру нижних конечностей, сводчатую стопу с сильно развитым первым пальцем, подвижную кисть руки, позвоночник с четырьмя изгибами, очень большой мозг по отношению к массе тела, крупные размеры мозгового и малые размеры лицевого отдела черепа, очень длительный период, предшествующий половому созреванию, членораздельную речь, общественный образ жизни. Эти особенности строения и физиологии человека - результат эволюции его животных предков.

Этапы антропогенеза

По современным представлениям, которые восходят к взглядам Ч. Дарвина, человек

произошел от высокоразвитых обезьян. Эта гипотеза, называемая симиальной, имеет ряд модификаций. Рассмотрим одну из них. Многие независимые данные разных отраслей биологии подтверждают наибольшую близость человека к африканским человекообразным обезьянам (понгидам), в первую очередь к шимпанзе. Ранние этапы эволюции общего понгидно-гоминидного ствола представлены североафриканским египтопитеком и группой дриопитеков, особенно древнейшим африканским дриопитеком из Кении, возраст которого примерно 20 млн лет. Предполагают, что отделение собственно гоминидной ветви эволюции произошло не ранее 14—15 млн лет и не позднее 6 млн лет назад. Основными тенденциями гоминизации считают прямохождение, увеличение объема мозга, прежде всего новой коры, и дифференциацию его структуры, развитие руки как органа труда, удлинение периода роста и развития, освоение нового способа поведения - адаптацию к трудовой деятельности, что означало образование принципиально иной адаптационной ниши. Эволюция гоминид была неравномерной. По-видимому, скорость морфологических изменений не совпадала полностью с темпами биохимической эволюции; не было строгого соответствия прогресса морфофункциональной организации и культуры.

Примерно 5 млн лет назад гоминиды были представлены двуногими человекообразными - австралопитековыми, которые 4,5—1 млн лет назад довольно широко распространились в Африке, а возможно, и за ее пределами. В одной из периферийных популяций ранних австралопитековых могли сформироваться первые представители рода *Номо*, сосуществовавшие с австралопитековыми на большом временном промежутке, о чем свидетельствуют находки в Кении и Танзании. По другим представлениям, австралопитековые и *Номо* сформировались независимо при конвергентном развитии двуногого хождения в обеих линиях. Ископаемые остатки *Номо* (древностью около 2 млн лет) в ряде районов Восточной Африки (Танзания, Кения, Эфиопия) нередко находят вместе с «праорудиями» древнейшей каменной культуры человечества — олдовайской.

Принято считать, что первым был вид человек умелый (*Homo habilis*), сменившийся около 1,5 млн лет назад видом человек прямоходящий (*Homo erectus*). В дальнейшем происходило постепенное расширение экологической ниши *Номо*, и она поглотила экологические ниши австралопитековых. Примерно 1 млн лет назад *Номо erectus* стал единственным представителем гоминид на Земле. Этот вид обнаруживается в различных регионах Африки и Евразии примерно до 0,3 млн лет.

Человек современного типа (*Homo sapiens*) появился не позднее 40 тыс. лет назад. Его предками одни ученые считают ранних прогрессивных неандертальцев (*Homo neandertalus*), а другие — представителей конкурирующих ветвей *Номо*, линии которых разошлись всего 500 тыс. лет назад. Окончательное формирование современного типа человека датируют временем приблизительно 10—8 тыс. лет до н.э., когда он уже широко расселился по планете. Таким образом, развитие от первых человекообразных обезьян к современному человеку было очень сложным и не имело прямолинейного характера.

Существуют разногласия по вопросу о древности расовых различий, территории и количестве центров сапиентизации. Но большинство ученых полагает, что после расселения единый вид *Homo sapiens* распался на ряд рас - географических популяций. Они различаются по ряду внешних признаков (цвет кожи, форма головы, форма волос, форма носа, губ и т.п.), по частоте некоторых генов, детерминирующих биохимические признаки. Обычно выделяют три большие расы: экваториальную, или австрало-негроидную; евроазиатскую, или европеоидную; азиатско-американскую, или монголоидную, каждая из которых в свою очередь подразделяется на более мелкие расы.

С биологической точки зрения различия между расами не являются существенными и при смешении не препятствуют образованию полноценного плодovитого потомства. Общий уровень физического и умственного развития одинаков у всех людей. При этом признаки, лежащие в основе формирования расы, при переходе из одного географического

района в другой изменяются постепенно, без резких скачков и часто перекрываются.

Соотношение природного и социального в антропогенезе было неодинаково на разных его этапах. В первобытном обществе гоминид прогресс социальной организации в значительной степени зависел от биологических изменений человека и в то же время процесс естественного отбора зависел от возникновения и развития общественных закономерностей и создания культурной среды. Относительная стабильность физического типа современного человека сохраняется примерно с середины позднего палеолита.

Считается, что в современном обществе отбор выступает как механизм поддержания сформировавшейся морфофункциональной организации в пределах видовой нормы реакции (стабилизирующий отбор) или как фактор внутривидового полиморфизма (дизруптивный отбор). Биологическое развитие современного человека проявляется обычно в виде разнонаправленных изменений различных признаков, а также структуры заболеваемости, темпов развития и т.д.

Биоэтика

В связи с развитием знаний о жизни у человека появилась возможность влиять на нее. Дело в том, что глубокое проникновение биологии в различные сферы общественной жизни потребовало усиления контроля со стороны общества за использованием ее научных достижений. Известно, что зачастую наиболее действенными средствами контроля оказываются общепринятые нормы морали. Эффективность норм нравственного регулирования объясняется силой привычки, традициями, обычаями, а также их универсальным характером. Моральные нормы чаще всего не нуждаются в контроле, так как они опираются на внутренний контроль, заложенный в душе каждого человека. Нормы морали очень динамичны, чутко реагируют на возникшие социальные проблемы. Они значительно опережают правовые нормы. Вероятно, это объясняет появление в последние годы новой сферы профессиональной этики - биоэтики (биологической или биомедицинской этики) [7].

Предметом изучения биоэтики являются быстро накапливающиеся достижения естествознания, в первую очередь биологии и медицины, глубокое их исследование и определение степени опасности в настоящем и будущем при их приложении к человеку и обществу в целом. Конечная цель биоэтики - разработка мер морального, а чаще законодательного характера, которые оградили бы каждого конкретного человека и человечество от нежелательных или губительных последствий внедрения новых и, к сожалению, не всегда до конца выверенных биологических и медицинских достижений.

Первоочередная проблема биоэтики связана с угрозой уничтожения всех форм жизни на Земле, ответственность за которую несут не только политики, но и ученые, особенно специалисты различных отраслей естествознания. Особое значение биоэтики обусловлено поразительными успехами современной генетики, внедрением искусственного оплодотворения, лекарственным «взрывом», наводнением внешней среды ксенобиотиками (чужеродными для организма соединениями — пестицидами, препаратами бытовой химии, лекарственными средствами и т.п.), разработкой новых способов регуляции деторождения, прогрессом трансплантологии, развитием вакцинопрофилактики инфекционных и вирусных заболеваний человека. В рамках биоэтики также привлекается внимание к проблемам гуманного отношения к животным, к совершенно новым и во многом еще не решенным проблемам ВИЧ-инфекции, принудительного лечения, врачебной тайны, эвтаназии (целесообразность поддержания жизни смертельно больного человека, допустимость использования человеком его «права на смерть»), к проведению научных экспериментов над животными и людьми, целесообразности применения достижений генетики для клонирования (копирования) животных и людей.

В процессе решения подобных и других биоэтических проблем утверждаются основные принципы биоэтики, среди которых чаще всего упоминают следующие:

◇ принцип единства жизни и этики, их глубокое соответствие и взаимообусловленность.

Если жизнь - это высшее проявление упорядоченности, организованности в мире природы, то этика есть высшее выражение сил, противостоящих хаосу в обществе;

◇ принцип признания жизни в качестве высшей категории среди всех этических ценностей, принцип известного гуманиста А. Швейцера «преклонения перед жизнью»;

◇ принцип гармонизации системы человек - биосфера, выдвигающий в качестве актуальной задачи современности налаживание оптимальных взаимоотношений между человеком и природой и требующий от общества все более полного учета биологических оснований социального бытия, поиска путей превращения биосферы в ноосферу (сферу разума) и предотвращения возможности ее уничтожения.

Современная биоэтика основывается на принципе уважения к жизни и достоинству каждого человека, интересы которого во всех случаях должны ставиться выше интересов науки и общества. Одним из коренных положений биоэтики является автономия (неприкосновенность) психического и физического статуса человека. Заметим, что при изучении проблем биоэтики перекрещиваются интересы биологических, медицинских, философских и юридических наук. Поэтому успехи в научном и практическом решении проблем биоэтики в немалой степени зависят от налаживания плодотворного сотрудничества представителей различных областей знания.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое жизнь? Каковы основные свойства жизни?
2. Какие основные уровни организации живой материи вы знаете?
3. Как устроена и как функционирует клетка?
4. Как, по современным представлениям, зародилась жизнь на Земле? Перечислите основные условия и факторы, способствовавшие этому.
5. Какие основные принципы биологической эволюции вы знаете?
6. Что такое микро- и макроэволюция? Как они соотносятся?
7. В чем состоят основные позиции синтетической теории эволюции?
8. В чем сходство и различия теории Ч. Дарвина и синтетической теории эволюции?
9. Когда зародилась жизнь и как происходило развитие жизни на ее самых ранних стадиях?
10. Какими путями развивалась жизнь в архейском и протерозойском зонах? Назовите характерные формы жизни того времени.
11. Как развивалась жизнь в палеозойскую эру? Какие формы жизни в это время вымирают, а какие появляются?
12. В чем состоят основные изменения в живой природе в мезозойскую и кайнозойскую эры? Какие формы жизни были унаследованы от предыдущих эр, какие вымерли в эти эры, а какие появились?
13. Как происходило становление человека как вида? Перечислите основные этапы антропогенеза.
14. Каково соотношение биологического и социального в истории становления человечества? Продолжается ли в настоящее время биологическая эволюция человека?
15. Что такое биоэтика, чем она занимается и каковы ее основные принципы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Айала Ф. Введение в популяционную и эволюционную генетику. М., 1984.
2. Алексеев В.П. Становление человечества. М., 1984.
3. Алихаян С.И., Акифьев А.П., Чернин Л.С. Общая генетика. М., 1985.
4. Аллен Р.Д. Наука о жизни. М., 1981.
5. Берг Л.С. Труды по теории эволюции. М., 1977.
6. Биологический энциклопедический словарь. М., 1995.
7. Биомедицинская этика / Под ред. В.И. Покровского. М., 1997.

- 8.Бондаренко О.Б., Михайлова И.А. Палеонтология. Т. 1,2. М., 1997.
- 9.Вайскопф В. Наука и удивительное. Как человек понимает природу. М., 1965.
- 10.Вернадский В.И. Живое вещество. М., 1978.
- 11.Вилли К, Детье В. Биология. М., 1975.
- 12.Воронцов Н.Н. Теория эволюции: Истоки, постулаты и проблемы. М., 1984.
- 13.Ганты Т. Жизнь и ее происхождение. М., 1984.
- 14.Грант В. Эволюция организмов. М., 1980.
- 15.Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: В 3 т. М., 1993.
- 16.Грядовой Д.И. Концепции современного естествознания: Структурный курс основ естествознания. М., 2000.
- 17.Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. М., 1986.
- 18.Иванов А.В. Происхождение многоклеточных животных. Л., 1968.
- 19.Кемп П., Арме К. Введение в биологию. М., 1988.
- 20.Мамонтов С.Г., Захаров В.Б., Козлова Т.А. Основы биологии. М., 1992.
- 21.Матюшин Г.Н. У истоков человечества. М., 1982.
- 22.Медников Б.М. Аксиомы биологии. М., 1982.
- 23.Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М., 1957.
- 24.Опарин А.И. Материя, жизнь, интеллект. М., 1977.
- 25.Орлов Ю.А. В мире древних животных. М., 1968.
- 26.Северцов А.С. Основы теории эволюции. М., 1987.
- 27.Татаринов Л.П. Палеонтология и эволюционное учение. М., 1985.
- 28.Уровни организации биологических систем. М., 1980.
- 29.Фолсом К.Э. Происхождение жизни. М., 1982.
- 30.Фролов И.Т. Философия и история генетики. М., 1988.
- 31..Хрисанова Е.Н., Перевозчиков И.В. Антропология. М., 2002.
- 32.Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., 1980.
- 33.Шмальгаузен И.И. Вопросы дарвинизма. М., 1990.
- 34.Шмальгаузен И.И. Пути и закономерности эволюционного процесса. М., 1983.
- 35.Шрёдингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М., 1972.
- 36.Энгельгардт В.А. Познание явлений жизни. М., 1984.
- 37.Югай Г.А. Общая теория жизни. М., 1985.
- 38.Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М., 1998.

Глава 10

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА

§ 10.1. Основные свойства географической оболочки

Географическая оболочка и ее особенности

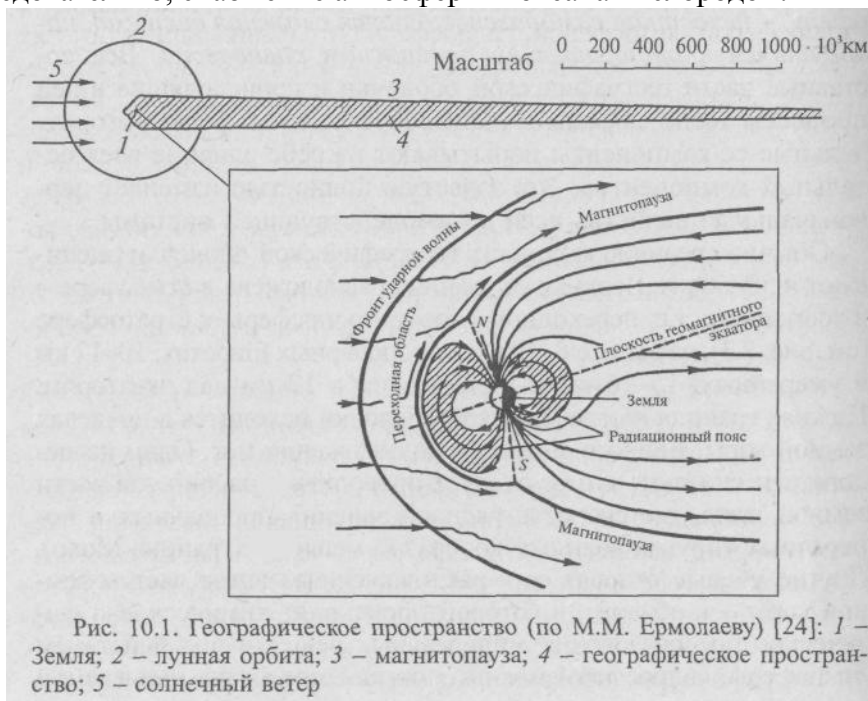
Изучение взаимодействия природы и общества - одна из актуальных проблем современного естествознания. Анализ ее целесообразно начать с рассмотрения географической оболочки, где протекают очень сложные процессы, происходит взаимодействие потоков вещества и энергии.

Географическая оболочка Земли, включающая земную кору (литосферу), нижние слои атмосферы, гидросферу и всю биосферу, - целостная саморазвивающаяся сложная система, находящаяся в относительно подвижном равновесии. Все составные части географической оболочки и происходящие в ней процессы тесно связаны и взаимообусловлены. Более того, отдельные ее компоненты испытывают на себе влияние всех остальных компонентов. Это зачастую полностью изменяет первоначальные свойства всей взаимодействующей системы.

Обычно среднюю мощность географической оболочки оценивают в 50-60 км. Верхняя

ее граница расположена в атмосфере - в тропопаузе, т.е. переходном слое от тропосферы к стратосфере (см. рис. 8.3), на высоте 8-10 км в приполярных широтах, 10-12 км в умеренных, 15-16 км в тропических и 17 км над экватором. Нижняя граница географической оболочки находится в пределах земной коры. Единого мнения о ее положении нет. Одни исследователи считают, что ее следует проводить в районе той части земной коры, где скорость распространения продольных и поперечных упругих волн скачкообразно меняется (граница Мохо). Другие ученые относят ее к расположенным выше частям земной коры - к области, в которой происходят химические и физические преобразования минеральных веществ под действием атмосферы, гидросферы и живых организмов (к так называемой зоне гипергенеза). Эти процессы распространяются на глубину от нескольких десятков до нескольких сот метров.

Географическая оболочка «вложена» в более широкое образование - в географическое пространство, оказывающее на нее непосредственное воздействие [24]. Снаружи географическое пространство асимметрично охватывает Землю - оно вытянуто в направлении, обратном Солнцу (рис. 10.1). Внешний предел географического пространства представляет собой границу магнитного поля Земли - магнитосферы, которая защищает географическую оболочку от действия солнечного ветра - потока заряженной плазмы (ионизированного газа) и частиц космического (внесолнечного) происхождения. Эти частицы направляются магнитными линиями магнитосферы к геомагнитным полюсам Земли и, частично проникая в географическую оболочку, оказывают существенное влияние на развитие живых организмов. Ультрафиолетовая радиация перехватывается озоновым слоем, который служит внутренней защитой географической оболочки, ее живых организмов. Длинноволновая радиация (лучи света), свободно проникая в географическую оболочку, обеспечивает протекание фотосинтеза и, следовательно, снабжение атмосферы и океана кислородом.



Географическая оболочка опирается на географическое пространство и со стороны нижней границы (т.е. ниже границы Мохо также располагается географическое пространство). Его влияние проявляется в том, что энергия земных недр создала (и создает) неровности земной поверхности, включая материки и океанические впадины, литосферу, входящую своей внешней частью в географическую оболочку. В то же время из земных недр в географическую оболочку поступают хлоридные рассолы, определяющие химизм океана, и т.д.

С понятием «географическая оболочка» тесно связано представление о *биосфере* -

одной из оболочек Земли, возникшей в ходе эволюции планеты и характеризующейся наличием жизни. Первоначально термин использовался для обозначения одной из геосфер, входящих в состав географической оболочки, наряду с атмосферой, литосферой, гидросферой, но отличающихся от них насыщенностью живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности. Благодаря работам В.И. Вернадского, раскрывшего огромную роль живых организмов в создании газового состава атмосферы, формировании осадочных горных пород, вод Земли и т.д., под *биосферой* стали понимать всю ту наружную область планеты Земля, в которой не только существует жизнь, но которая в той или иной мере видоизменена или сформирована жизнью [6, 7]. Возникновение биосферы - важный этап развития географической оболочки, предшествующий формированию ноосферы (сферы разума).

В результате активного круговорота вещества и энергии на поверхности суши, в месте непосредственного контакта слоя жизни и литосферы, являющемся фокусом взаимодействия живого и косного вещества, формируется своеобразное *биокожное образование* - почва, участвующая в биологическом круговороте элементов системы литосфера - растительность. Основатель генетического почвоведения В.В. Докучаев образно называл почву зеркалом ландшафта. Действительно, почва является достаточно чутким индикатором процессов, происходящих в географической оболочке. Корневая система растений поглощает из почвы воду и элементы минерального питания. Обмену элементами между почвой и растительностью способствуют обитающие вокруг корней микроорганизмы. На поверхность почвы падает отмершее органическое вещество наземной части растений. Часть его, а также останки и экскременты животных полностью минерализуются до простых веществ главным образом микроорганизмами, которые можно назвать «чистильщиками» почвы и биосферы от мертвых остатков организмов. В результате поверхностный горизонт почвы обогащается рядом биогенных элементов, заимствованных растительностью из более глубоких слоев почвы и атмосферы и необходимых для минерального питания следующих поколений организмов. Другая часть мертвого органического вещества минерализуется не полностью - из нее синтезируется сложное высокомолекулярное коллоидное органическое вещество бурого или черного цвета — гумус (перегной). Гумус обладает высокой устойчивостью против разложения и минерализации, поэтому он постепенно накапливается, что приводит к образованию на поверхности почвы темного гумусового горизонта (он присутствует в каждой почве, а в гидросфере - в донном иле водоемов). При своей большой устойчивости гумус все же подвергается медленному разложению. Поэтому он служит постоянным источником легкодоступных для организмов веществ и энергии и играет исключительную роль в создании почвенного плодородия. Гумус является резервом и стабилизатором органической жизни биосферы.

Процессы биогенной аккумуляции в почве совмещаются с процессами, характерными для коры выветривания, в результате чего первоначально однородная толща почвообразующей породы расчленяется на горизонты. Образуется почвенный профиль - характерный признак почвы, выделенный впервые основоположником почвоведения В.В. Докучаевым. Протекающие в почве процессы определяют в существенной степени превращения, происходящие в подпочвенных горизонтах коры выветривания. В почвах готовится основной материал, образующий в дальнейшем континентальные и морские отложения, из которых формируются новые горные породы. Более того, за счет выноса из почвы и в целом из коры выветривания легкоподвижных в водной среде элементов образовалась значительная часть солей гидросферы.

Энергетические источники существования географической оболочки

Своим существованием географическая оболочка обязана различным видам энергии [3, 24, 27, 28]:

◇ основные первичные виды энергии - лучистая энергия Солнца и внутренняя теплота

Земли;

◇ вторичные виды энергии, являющиеся результатом трансформации первичных, - химическая энергия, проявляющаяся преимущественно в виде окислительно-восстановительных процессов, и биогенная, источником которой является фотосинтез у растений, хемосинтез у некоторых бактерий, энергия окисления при усвоении пищи животными, процессы размножения и прироста биомассы;

◇ техногенная энергия, т.е. энергия, создаваемая человеческим обществом в процессе производства, которая сопоставима по величине с природными факторами.

Солнечная радиация — основной двигатель всех природных процессов в географической оболочке. Именно благодаря ей текут реки, дуют ветры, зеленеют поля... Солнечная радиация дает 99,8% всей теплоты, попадающей на поверхность Земли. Всего 28% общего потока солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы, определяет тепловой режим земной поверхности. В среднем для всей поверхности Земли этот приток солнечной теплоты составляет 72 ккал/см^2 в год. Он расходуется на таяние льдов и испарение воды, на фотосинтез, а также на теплообмен между земной поверхностью, атмосферой и водами и между поверхностью и лежащими под ней слоями почвогрунтов. Заметим, что поскольку над сушей меньше облачность, следовательно, меньшее количество радиации отражается облаками в мировое пространство и суша получает солнечной радиации больше, чем такая же площадь океана. Но у суши и большая отражательная способность (альбедо): получая солнечной теплоты больше, чем океан, суша его больше и отдает. В итоге радиационный баланс поверхности океана составляет 82 ккал/см^2 в год, а суши - только 49 ккал/см^2 в год.

Приблизительно 1/3 общего количества солнечной энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, отражается в мировое пространство, 13% поглощается озоновым слоем стратосферы, 7% - остальной атмосферой. Следовательно, только половина солнечной энергии достигает земной поверхности. Но из этой половины 7% отражается обратно в мировое пространство, а еще 15%, поглощаясь земной поверхностью, трансформируется в теплоту, которая излучается в тропосферу и в значительной мере определяет температуру воздуха.

Из общего количества солнечной энергии, поступающей на земную поверхность, растительность суши и моря использует для фотосинтеза в среднем около 1% (в оптимальных условиях увлажнения - до 5%), хотя фотосинтетически активная радиация (которую можно использовать для фотосинтеза) составляет примерно 50% суммарной радиации, поступающей на поверхность Земли. Из всего этого следует, что нахождение путей повышения интенсивности фотосинтеза за счет увеличения количества используемой солнечной энергии может привести к решению продовольственной проблемы, стоящей перед человечеством.

Географическая оболочка способна аккумулировать лучистую энергию Солнца, переводя ее в иные формы. Для нее характерно наличие так называемой геологической памяти -слоев осадочных пород, обладающих огромным энергетическим потенциалом, что создает предпосылки для дальнейшей прогрессивной эволюции всех частных геоболочек. Солнечная радиация оказывает значительное влияние на развитие литосферы, так как осадочные породы несут следы деятельности организмов - аккумуляторов солнечной энергии, а кристаллические породы, оказавшиеся в результате действия внутренних сил Земли на ее поверхности, включаются в круговорот веществ прежде всего под влиянием солнечной радиации.

Внутренняя теплота Земли играет важную роль в жизни географической оболочки, хотя ее поступает примерно в 5 тыс. раз меньше, чем солнечной теплоты. Источниками внутренней теплоты выступают:

О распад радиоактивных элементов (радия, урана, тория и др.). Их относительное содержание в земной коре невелико, но абсолютное количество измеряется сотнями миллионов тонн. Атомы радиоактивных элементов самопроизвольно распадаются,

выделяя при этом теплоту. Она накапливалась с момента возникновения Земли и во многом определяла ее разогрев. Так, 1 г радия дает в течение часа 140 кал, а при полураспаде, который продолжается примерно 20 тыс. лет, выделяет столько же теплоты, сколько при сжигании 500 кг каменного угля. Общая величина тепловой энергии радиоактивного распада оценивается в $43 \cdot 10^{16}$ ккал/год;

◇ гравитационная дифференциация с перераспределением материала по плотности (уплотнение) в мантии и ядре, сопровождающаяся выделением теплоты. Частицы, которые были неплотно «упакованы» при образовании нашей планеты, перемещаясь к ее центру, преобразовывают потенциальную энергию в кинетическую и тепловую.

В пределах географической оболочки действие гравитации усиливается, так как вещество здесь существует в разных агрегатных состояниях (твердом, жидком и газообразном). Поэтому тектонические процессы перемещения земной коры наиболее ярко проявляются на границе разных сфер — литосферы и атмосферы, литосферы и гидросферы. Если в литосфере давление возрастает равномерно в среднем на 275 атм на 1 см^2 на 1 км глубины, то в океане оно возрастает втрое медленнее, а давление воздуха в атмосфере по сравнению с литосферой и гидросферой ничтожно. Силы глубинной энергии вызывают горизонтальные перемещения литосферных плит, поднятия и опускания материков, отступление и наступание морей. Внутренняя жизнь Земли проявляется в виде землетрясений и извержений вулканов, а также гейзеров (источников, периодически выбрасывающих фонтаны горячей воды и пара).

Наиболее интенсивен обмен вещества и энергии в ландшафтообразующем слое географической оболочки. Мощность этого слоя оценивается величиной от 30—50 м в полярных пустынях до 150-200 м в зоне влажнотропических лесов (гилей); в океане он включает всю толщу гидросферы. Ландшафтообразующий слой характеризуется наиболее тесным прямым контактом всех компонентов географической оболочки под влиянием энергии Солнца, внутренних сил Земли (в том числе и силы тяжести) и деятельности человека.

Структура географической оболочки

Одной из важных особенностей географической оболочки является ее *географическая зональность*. Представления о ней появились еще в античной Греции. Концепция географической зональности была обоснована В.В. Докучаевым в 1899 г.

Неравномерное распределение солнечной радиации по поверхности Земли приводит к возникновению климатических поясов, для каждого из которых характерны определенные природные процессы. На их основе выделяют *географические пояса*.

Обычно говорят о 13 географических поясах: один экваториальный, два субэкваториальных (в Северном и Южном полушариях), два тропических, два субтропических, два умеренных, два субполярных (субарктический и субантарктический) и два полярных (арктический и антарктический). Даже сам перечень названий свидетельствует о симметричном расположении поясов по отношению к экватору. В каждом из них преобладают определенные воздушные массы. Для экваториального, тропического, умеренного, арктического поясов характерны собственные воздушные массы, а в остальных поясах попеременно господствуют воздушные массы соседних географических поясов. В летней половине года в Северном полушарии господствуют воздушные массы из более южного пояса (а в Южном, наоборот, из более северного), в зимней половине года - из более северного пояса (а в Южном полушарии — из более южного).

Широтные географические пояса суши неоднородны, что определяется прежде всего тем, в каком районе - приокеаническом или континентальном - они находятся. Приокеанические районы лучше увлажняются, а континентальные, внутренние, напротив, более сухие, так как здесь влияние океанов почти не ощущается. На этом основании пояса делятся на приокеанические и континентальные *секторы*.

Наиболее наглядно секторность выражена в умеренных и субтропических поясах Евразии - континенте максимальных размеров. Здесь влажные лесные ландшафты приокеанических окраин по мере движения в глубь материка сменяются сухими степными, а затем полупустынными и пустынными ландшафтами континентального сектора. Менее четко секторность проявляется в тропическом, субэкваториальном и экваториальном поясах. В тропиках выделяются всего два сектора. Пассаты (устойчивые на протяжении года воздушные течения над океанами) приносят осадки только на восточные окраины поясов, где распространены влажные тропические леса. Во внутренних и западных районах сухой, жаркий климат; на западных побережьях пустыни выходят к самому океану. По два сектора выделяют также в экваториальном и субэкваториальном поясах. В субэкваториальном - это постоянно влажный (восточный) с лесными ландшафтами и сезонно влажный (включает всю остальную часть), занятый редколесьями и саваннами. В экваториальном поясе большая часть территории относится к постоянно влажному сектору с влажными «дождевыми» лесами и лишь восточная периферия — к сезонно влажному, где распространены преимущественно листопадные леса. Самая резкая «секторная граница» проходит там, где на пути воздушных масс встают горные барьеры (например, Кордильеры в Северной Америке и Анды в Южной). Здесь западные приокеанические секторы ограничены узкой прибрежной полосой равнин и прилегающих горных склонов.

Секторы подразделяются на более мелкие единицы - *природные зоны*, различающиеся по соотношению тепла и влаги, так как одинаковое количество осадков, например менее 150-200 мм в год, в тундрах может привести к развитию болот, а в тропиках - к формированию пустынь.

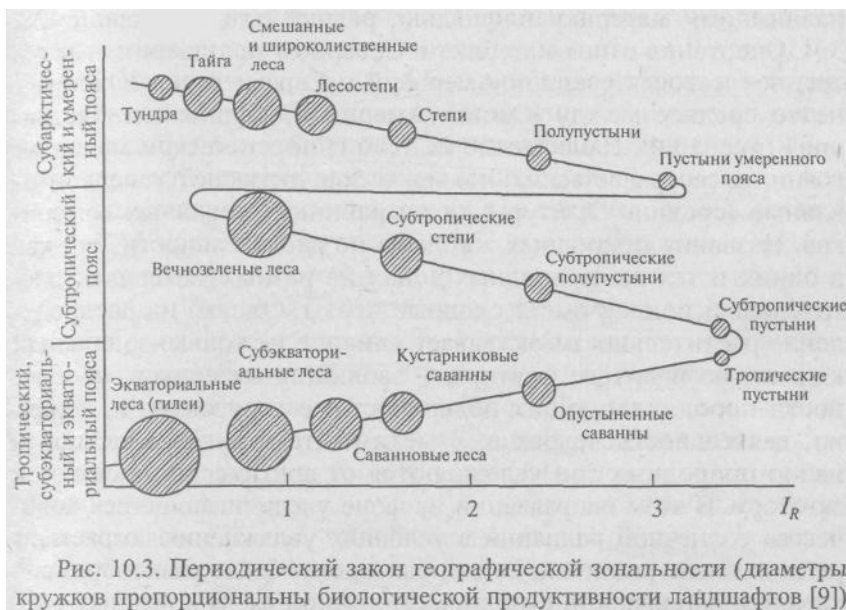
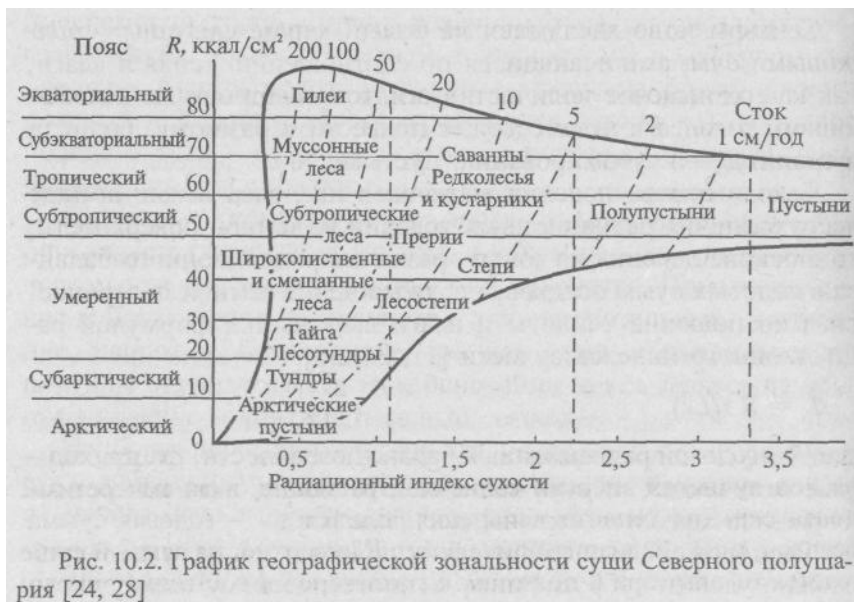
Если в основе деления материков на пояса лежат прежде всего различия радиационных условий на земной поверхности, то в основе деления на зоны - различия радиационного баланса и годовых сумм осадков, т.е. увлажнение земной поверхности. Соотношение теплоты и влаги выражается формулой радиационного индекса сухости [11, 24, 28]:

$$I_R = R / (Lr)$$

где R - годовой радиационный баланс поверхности, т.е. приход — расход лучистой энергии солнечной радиации, ккал/см²; L - годовая скрытая теплота испарения, ккал/см ; r - годовая сумма осадков, г/см². Радиационный баланс R поверхности суши уменьшается от экватора к полюсам: на экваторе он составляет около 100 ккал/см² в год, в районе Санкт-Петербурга - 24 ккал/см² в год (рис. 10.2). Индекс сухости недостаточно полно характеризует географические зоны. Одно и то же его значение, как видно из рисунка, типично для разных природных зон: и для тайги, и для широколиственных лесов умеренного пояса, и для экваториальных лесов. Поэтому ученые пытаются найти более универсальные характеристики географической зональности.

При движении от полюсов к экватору на материках, в особенности в Северном полушарии, некоторые общие свойства природы периодически повторяются: за безлесной тундрой следуют к югу лесные зоны умеренного пояса, за ними - степи и пустыни умеренного, субтропического, тропического поясов, далее — леса экваториального пояса. Эта закономерность была отражена в периодическом законе зональности, согласно которому основу дифференциации географической оболочки составляют:

◇ количество поглощаемой солнечной энергии, возрастающее от полюсов к экватору и характеризующее годовыми величинами радиационного баланса земной поверхности;



- ◇ количество поступающей влаги, характеризующееся годовыми суммами осадков;
- ◇ соотношение теплоты и влаги, точнее, отношение радиационного баланса к количеству теплоты, необходимому для испарения годовой суммы осадков, - радиационный индекс сухости.

Закон периодичности проявляется в том, что величины индекса сухости меняются в разных зонах от 0 до 4—5, трижды между полюсами и экватором они близки к единице - этим значениям соответствует наибольшая биологическая продуктивность ландшафтов (рис. 10.3).

Ландшафты - более мелкие единицы по сравнению с природными зонами, служат основными ячейками географической оболочки. По микроклимату, микрорельефу, почвенным подтипам ландшафты подразделяются на урочища и далее на фации, которые отличаются от окружающих. Это может быть конкретный овраг или холм и их склоны, лес, поле и т.д.

Расположение географических поясов и зон на земной суше можно уяснить, обратившись к гипотетическому однородному равнинному матеру площадью, равной площади суши [28, 33]. Очертание этого материка в Северном полушарии — нечто среднее между Северной Америкой и Евразией, а в Южном - нечто среднее между Южной Америкой, Африкой и Австралией (рис. 10.4). Нанесенные на этом гипотетическом материке границы географических поясов и зон отражают генерализованные (средние)

контуры их на равнинах реальных материков. Названия природных зон даны по растительности, так как в одних и тех же природных зонах на разных материках растительный покров имеет сходные черты. Однако на распределение растительности оказывает влияние не только зональный климат, но и другие факторы - эволюция материков, особенности пород, слагающих поверхностные горизонты, и, конечно, деятельность человека. Заметим, что структура поясов и набор природных зон усложняются от арктических районов к экватору. В этом направлении на фоне увеличивающегося количества солнечной радиации в условиях увлажнения возрастают региональные различия. Этим объясняется более разнообразный характер ландшафтов в тропических широтах. В полярных районах при постоянном переувлажнении, но недостаточном количестве теплоты этого не наблюдается.

На ландшафтную структуру географической оболочки помимо климатических факторов влияют различия в строении земной поверхности. Например, в горах отчетливо проявляется высотная (или вертикальная) зональность, где ландшафты изменяются от подножий к вершинам. Существование широтной (горизонтальной) и высотной зональности позволяет говорить о трехмерности географических поясов. Растительность и животный мир горных ландшафтов развивались одновременно с подъемом самих гор, т.е. горные виды растений и животных, как правило, возникали на равнинах. В целом в горах видовое разнообразие растений и животных выше в 2-5 раз, чем на равнинах. Нередко горные виды обогащают растительность равнин. Тип вертикальной зональности (набор высотных зон) зависит от того, в каком географическом поясе, в какой природной зоне расположены горы, и смена зон в горах не повторяет их смену на равнинах, там формируются специфические горные ландшафты, причем возраст горных ландшафтов уменьшается с высотой.

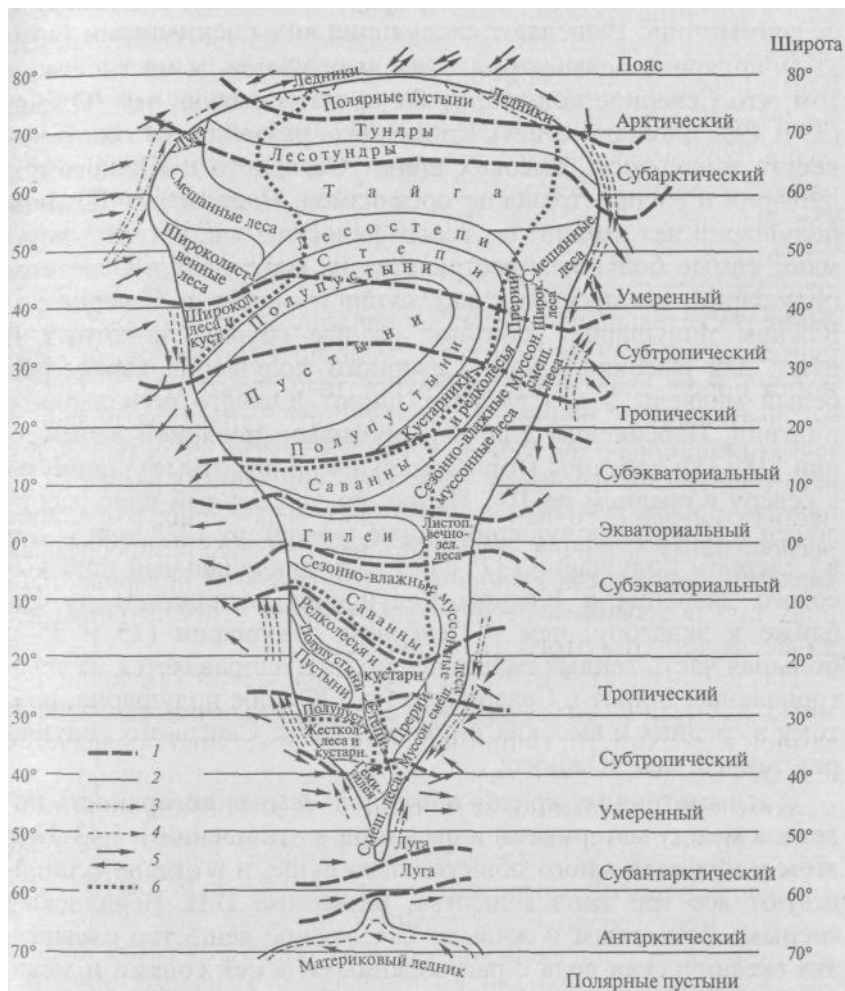


Рис. 10.4. Схема географических поясов и основных зональных типов ландшафтов на гипотетическом материке (размеры изображенного материка соответствуют половине площади земной суши, конфигурация – ее расположению по широтам): 1 – границы поясов; 2 – границы зональных типов ландшафтов; 3 – теплые течения; 4 – холодные течения; 5 – господствующие ветры; 6 – границы секторов

Важной особенностью географической оболочки является ее асимметрия. Выделяют следующие виды асимметрии [24]:

◇ полярная асимметрия. Она выражается, в частности, в том, что Северное полушарие более материковое, чем Южное (39 и 19% площади суши). Кроме того, различаются географическая зональность высоких широт Северного и Южного полушарий и распространение организмов. Например, в Южном полушарии нет именно тех географических зон, которые занимают самые большие пространства на материках в Северном полушарии; на пространствах суши и океана в Северном и Южном полушариях обитают разные группы животных и птиц: для высоких широт Северного полушария характерен белый медведь, а для высоких широт Южного полушария - пингвин. Перечислим еще ряд признаков полярной асимметрии [28, 33]: все зоны (горизонтальные и высотные) сдвинуты к северу в среднем на 10°. Например, пустынный пояс расположен в Южном полушарии ближе к экватору (22° ю.ш.), чем в Северном полушарии (37° с.ш.); антициклональный пояс высокого давления в Южном полушарии расположен на 10° ближе к экватору, чем в Северном полушарии (25 и 35°); большая часть теплых океанических вод направляется из экваториальных широт в Северное, а не в Южное полушарие, поэтому в средних и высоких широтах климат Северного полушария теплее, чем Южного;

◇ асимметрия материков и океанов. Земная поверхность поделена между материками и

океанами в отношении 1:2,43. При этом у них есть много общего. И на суше, и в океане господствуют все три типа вещества, названные В.И. Вернадским косным, биокосным и живым. Так, косное вещество океана - это океаническая вода с растворенными в ней солями и механическими взвесями, и некоторые из них служат основой питания растительных организмов, как почвы материков. И в океанической, и в материковой частях географической оболочки живое вещество сосредоточено главным образом в приповерхностном слое. Различия биомасс и их продуктивности на суше и в океане очень значительны. На континентах преобладают растения, а в океане - животные. Биомасса океана составляет всего 0,13% суммарной биомассы живых организмов планеты. Живое вещество планеты в основном сосредоточено в зеленых растениях суши; организмов, не способных к фотосинтезу, менее 1%. По количеству видов сухопутные животные составляют 93% общего количества видов. То же соотношение характерно для растений - 92% сухопутных и 8% водных. По числу видов растения составляют около 21%, животных - примерно 79%, хотя по биомассе доля животных - 1% всей биомассы Земли. В общем случае Л.А. Зенкевич различал три плоскости симметрии - асимметрии океана и суши и соответственно три типа симметрии: экваториальную плоскость; меридиональную плоскость, проходящую через материки и выражающую сходство целых океанов; меридиональную плоскость, разделяющую каждый океан на восточную и западную части. Те же плоскости симметрии можно выделить и для материков: экваториальную плоскость, которая подчеркивает их полярную асимметрию; плоскости вдоль меридиональных осей океанов, которые отмечают индивидуальные особенности материков; плоскости по меридиональным осям материков (Евразии, Африки и т.д.), которые подчеркивают, например, различия муссонных - восточных и западных - секторов материков.

§ 10.2. Функционирование географической оболочки

Круговорот веществ в географической оболочке

Наиболее общие свойства географической оболочки определяются ее массой, энергией и их круговоротом. Функционирование географической оболочки осуществляется посредством большого количества круговоротов веществ и энергий, обеспечивает сохранение основных ее свойств на протяжении значительного времени, обычно носит ритмический (суточный, годовой и т.д.) характер и не сопровождается ее коренным изменением. Успешное взаимодействие человека и природы возможно при понимании сущности этого функционирования, так как управление ими позволит сохранить стабильную географическую оболочку [1,3, 11,20,24,27,28,33,35].

Вещество географической оболочки и его энергия имеют земное и солнечно-космическое происхождение. Взаимодействие компонентов географической оболочки происходит путем обмена веществом и энергией в форме круговоротов различного масштаба. Энергетический баланс географической оболочки рассмотрен в § 10.1, поэтому здесь остановимся на балансе вещества и других важных для географической оболочки циклических процессах. Обычно *под круговоротом веществ понимают повторяющиеся процессы превращения и перемещения вещества и энергии в природе, имеющие более или менее циклический характер*. Эти процессы следует характеризовать как поступательные, поскольку при различных превращениях в природе не происходит полного повторения циклов, всегда присутствуют те или иные изменения в количестве и составе образующихся веществ и энергии.

В связи с неполной замкнутостью круговоротов веществ концентрация тех или иных элементов меняется в масштабах геологического времени, например в атмосфере накапливаются биогенные азот и кислород, в земной коре - биогенные соединения углерода (нефть, уголь, известняки). В разных частях планеты скапливаются (при извержении вулканов или в составе метеоритов и космической пыли) и рассеиваются водород, железо, медь, никель.

Круговорот веществ в природе включает в себя процессы преобразования простейших минеральных и органоминеральных веществ в более сложные соединения, их перемещение, дальнейшую деструкцию с образованием простых форм. Так, ежегодно из Мирового океана испаряется более 450 тыс. км³ воды и примерно столько же возвращается в виде атмосферных осадков и стока. Однако здесь проявляется неполная замкнутость круговорота воды: вода атмосферных осадков может связываться в результате различных реакций или погружения в толщу Земли; часть вещества Земли, в том числе вода, непрерывно уходит в межпланетное пространство из внешних слоев атмосферы, где скорость газов начинает превышать критическую (первую космическую) скорость. В общем случае оценить полный баланс вещества (соотношение между приходом и расходом) географической оболочки достаточно сложно. Но предполагается, что этот баланс положительный, т.е. в географической оболочке вещество накапливается.

Вещество каждой частной оболочки (гидросферы, атмосферы и пр.) присутствует в других частных оболочках. Например, вода пропитывает горные породы, а водяные пары присутствуют в атмосфере. Более того, явления и процессы, происходящие в географической оболочке, осуществляются совместно и неразрывно. Все компоненты географической оболочки взаимодействуют и проникают друг в друга.

Важнейшими круговоротами, осуществляющимися в пределах географической оболочки, считаются круговорот вещества, связанный с круговоротом воды, и круговорот, вызываемый деятельностью живого вещества.

Круговорот вещества между сушей и океаном связан с *круговоротом воды*. Солнечная радиация нагревает водную поверхность, что приводит к испарению огромного количества воды. Большая ее часть возвращается в Океан в виде атмосферных осадков, а остальная часть выпадает в виде атмосферных осадков на сушу и далее возвращается обратно в Океан в виде стока, главным образом речного. Если принять, что каждый год испаряется новая порция воды Океана и сохраняются существующие темпы круговорота, то оказывается, что вся вода, содержащаяся в атмосфере, обновляется за 1/40 года, речные воды - за 1/30 года, почвенные воды — за 1 год, воды озер — за 200-300 лет, а вся гидросфера, включая Океан, - за 3000 лет.

В круговороте вращается не только чистая вода. В состав водяного пара с поверхности Океана попадают ионы морских солей. С атмосферными осадками они выпадают на сушу. Эти соли, а также вещества, выщелачиваемые почвенными и грунтовыми водами вследствие процессов выветривания и почвообразования, поступают в речные воды. Часть их задерживается на суше в долинах рек, а другая часть в виде взвесей и растворов вместе с речным стоком достигает Океана. Механически взвешенное вещество постепенно выпадает на дно, а растворенное вещество смешивается с раствором морской воды, поглощается морскими организмами и в конечном счете в результате химических и биохимических процессов выпадает на дно Океана. С суши в Океан поступает значительно больше вещества, чем возвращается из Океана на сушу. Если бы этот темп сноса вещества с суши в океан был таким же и в прошлом, то масса всех осадочных пород Земли могла бы образоваться примерно за 130 млн лет. Однако возраст осадочных пород несравненно больше, поэтому считается, что темп выветривания в настоящее время значительно выше, чем в прошлом.

Обмен веществом между сушей и морем не ограничивается описанным круговоротом. Так, поднятия и опускания поверхности суши и океанического дна приводят к изменению соотношения суши и Океана, в связи с чем морские осадки могут оказаться на суше и их вещество включается в новый круговорот. Таким образом, Океан частично компенсирует отрицательный баланс обмена веществом между сушей и Океаном. Но и этот процесс полностью не замыкает круговорот, поскольку часть осадков в областях погружения может уходить за пределы географической оболочки — в глубокие слои Земли.

Другой важнейший круговорот вызывается деятельностью живого вещества. В биосфере постоянно происходит прирост живого вещества, и за это же время отмирает

такая же масса живого вещества. Подсчитано, что все живое вещество могло бы обновиться примерно за 13 лет. В процессе фотосинтеза растения на суше поглощают воду и продукты минерального питания из почвы, а в гидросфере — из верхних, освещаемых солнечными лучами слоев воды. Из воды в гидросфере и из атмосферы на суше растения поглощают углекислый газ. В процессе фотосинтеза они выделяют в атмосферу и гидросферу кислород. В результате весь кислород атмосферы может обновиться за 5800 лет, углекислый газ — за 7 лет, а вся вода гидросферы — за 5,8 млн лет. Еще более интенсивен круговорот воды, связанный с транспирацией (испарением) растительностью. Растениями суши в биологический круговорот постоянно включаются минеральные вещества из почвы, которые возвращаются в почву. Но круговорот веществ, обусловленный деятельностью живого вещества, не полностью замкнут — часть вещества на суше выходит из биологического круговорота и с речным стоком поступает в Океан. Пройдя биологический круговорот в океане, часть вещества выпадает в осадок, из которого образуются осадочные горные породы, и надолго выключается из биологического круговорота.

Круговороты отдельных химических элементов

Для географической оболочки крайне важен *круговорот отдельных биогенных элементов*. Каждый химический элемент совершает свой круговорот в географической оболочке за счет солнечной энергии. Участвующие в круговоротах элементы переходят из органической формы в неорганическую и наоборот. При нарушении равновесия круговоротов этих элементов биогенные элементы или накапливаются в ландшафтах, или удаляются из них. Так, мертвый органический материал накапливается в отложениях озер, прибрежных болот и мелких морей, где анаэробные условия препятствуют его разложению микроорганизмами, что приводит к угле- или торфообразованию; эрозия почв, обусловленная нерациональным использованием земель (сведение лесов, неправильная распашка и т.д.), приводит к вымыванию богатых биогенными элементами почвенных слоев.

К основным биологическим циклам обычно относят круговороты таких важных для формирования живого вещества элементов, как углерод, кислород, азот, фосфор:

◇ круговорот углерода. Источников углерода достаточно много, но лишь углекислый газ (диоксид углерода), находящийся в атмосфере в газообразном состоянии или растворенный в воде гидросферы, перерабатывается в органическое вещество живых организмов. В процессе фотосинтеза он превращается в сахар, затем в протеиды, липиды и другие органические соединения. Весь ассимилированный в процессе фотосинтеза углерод включается в углеводы, служащие источником питания живых организмов. В процессе их дыхания около трети этого углерода превращается в углекислый газ и возвращается в атмосферу. Основные источники современного повышенного поступления углекислого газа — антропогенные. В настоящее время в процессе хозяйственной деятельности человека (сжигание топлива, металлургия и химическая промышленность) в атмосферу выбрасывается в 100-200 раз больше углекислого газа, чем его поступает из природных источников, а в результате уничтожения лесов, загрязнения морей и океанов и т.д. ослабевают процессы фотосинтеза, что также приводит к увеличению содержания углекислого газа в атмосфере. Наблюдения за содержанием углекислого газа в атмосфере, осуществляемые с середины XIX в., показали, что за последние 10 лет оно возросло примерно на 10% его современной концентрации. Это создает так называемый парниковый эффект - углекислый газ задерживает длинноволновое тепловое излучение с поверхности Земли. В результате возможны повышение температуры воздуха и, как следствие, таяние ледников, подъем уровня Океана. Заметим, что изменение климата обуславливает и ряд других антропогенных факторов - загрязнение и запыление атмосферы, снижающее количество поступающей солнечной радиации на земную поверхность, сведение лесов и загрязнение поверхности Мирового океана нефтью,

изменяющие альбедо производственные выбросы теплоты в атмосферу;

◇ круговорот кислорода. Кислород содержится в географической оболочке в разных формах. В атмосфере он находится в газообразной форме (в виде молекул кислорода и в составе молекул диоксида углерода CO_2), в гидросфере - в растворенном виде, а также входит в состав воды. Больше всего кислорода находится в связанном состоянии в молекулах воды, в солях, оксидах твердых пород земной коры. Несвязанный кислород расходуется на дыхание животных и растений, а также на окисление веществ, образующихся при разложении органических веществ микроорганизмами. Основным источником атмосферного кислорода — зеленые растения. Ежегодно в процессе фотосинтеза высвобождается примерно $1/2500$ его содержания в атмосфере, т.е. время круговорота кислорода в атмосфере составляет около 2500 лет. Деятельность человека привела к появлению новых видов потребления свободного кислорода: он требуется в производстве тепловой энергии, при сжигании горючих ископаемых, в металлургии, химическом производстве, расходуется в процессе коррозии металлов. Расход кислорода, связанный с производственной деятельностью человека, составляет 10-15% того количества, которое образуется в процессе фотосинтеза;

◇ круговорот азота. Основным источником азота — воздух, он содержит около 78% азота. Большая часть этого газа образуется в результате деятельности микроорганизмов - фиксаторов азота. Нитраты - соли азотной кислоты - из разнообразных источников поступают к корням растений; образовавшийся в результате биохимических реакций азот переносится в листья, где синтезируются протеины, служащие основой азотного питания животных. После отмирания живых организмов органическое вещество разлагается и азот переходит из органических в минеральные соединения под действием аммонифицирующих организмов, образующих аммиак, который входит в цикл нитрификации. Растения ежегодно образуют менее 1% активного фонда азота, т.е. общее время круговорота азота превышает 100 лет. При отмирании растений и животных азот под воздействием бактерий-денитрификаторов переходит в атмосферу. Основным источником повышенного поступления азота в природный круговорот - современное сельское хозяйство, использующее азотные удобрения. Производство и применение азотных удобрений приводит к нарушению естественного соотношения между количеством газообразного азота, образующегося из органических соединений и поступающего в атмосферу, и количеством азота, приходящего из атмосферы в процессе его естественной фиксации;

◇ круговорот фосфора. Фосфор - один из важнейших элементов, участвующих в создании живого вещества. Содержание фосфора в биомассе географической оболочки значительно меньше, чем кислорода и углерода, но без него невозможен синтез белков и других высокомолекулярных соединений углерода. Основным источником фосфора в географической оболочке — апатиты. В миграции фосфора большую роль играет живое вещество: организмы извлекают фосфор из почв, водных растворов; он входит в многочисленные органические соединения, особенно много его в костных тканях. С гибелью организмов фосфор возвращается в почву и в илы морей и концентрируется в виде морских фосфатных конкреций (минеральных образований округлой формы), в скелетах рыб, млекопитающих, гуано (разложившемся в условиях сухого климата помете морских птиц). Это создает условия для образования богатых фосфором осадочных пород, которые в свою очередь являются источником фосфора в биогенном цикле. В настоящее время значительное влияние на запасы и распределение фосфора, как и азота, в географической оболочке, на скорость и замкнутость их круговоротов оказывают такие факторы, как уничтожение лесов, замена их травянистой и культурной растительностью.

Ритмические процессы в географической оболочке

Важным звеном в изучении функционирования географической оболочки является анализ ритмичности происходящих в ней процессов и их зависимость от внутренних и

внешних факторов. Природные явления могут быть периодическими (одинаковые фазы повторяются через равные промежутки времени: смена дня и ночи, смена времен года и др.); циклическими, когда при постоянной средней продолжительности цикла промежутки времени между его одинаковыми фазами имеет переменную продолжительность (колебания климата, наступление и отступление ледников). Ритмичность установлена в атмосферных процессах (температура, осадки, атмосферное давление и др.), в развитии гидросферы (в колебаниях водности рек, уровней озер), в изменении ледовитости морей и развитии ледников на суше, в трансгрессиях (наступление моря на сушу) и регрессиях (отступление морей), в различных биологических процессах (развитие деревьев, размножение животных), в горообразовании. По продолжительности различают ритмы суточные, годовые, внутривековые (от нескольких лет до десятилетий), многовековые, сверхвековые (измеряемые тысячелетиями, десятками и сотнями тысячелетий), геологические, когда некоторые явления повторяются через миллионы лет.

Гелиогеофизические ритмы в географической оболочке связаны с изменениями солнечной активности; родоначальниками науки об изменении солнечной активности являются Г. Галилей, И. Фабрициус, Х. Шейнер, Т. Гарриот, которые еще в начале XVII в. обнаружили на поверхности Солнца темные пятна. Существование косвенно действующей связи «солнцедетельности» с природными процессами доказал отечественный ученый А.Л. Чижевский, которого считают основателем гелиобиологии. Он установил зависимость от активности Солнца таких явлений органического мира, как урожайность злаков, рост и болезни растений, размножение животных и улов рыбы, колебания содержания кальция в крови и изменения веса младенцев, частота несчастных случаев и вспышек инфекционных заболеваний, рождаемость и смертность [37].

К гелиогеофизическим ритмам обычно относят 11-летние, 22-23-летние, 80-90-летние. Они проявляются в колебаниях климата и ледовитости морей, интенсивности роста и смене фаз развития растительности (в частности, они фиксируются в годичных кольцах деревьев), изменениях активности вулканов.

Вызванные И-летними периодами солнечной активности электрические и магнитные явления в атмосфере оказывают огромное влияние не только на климат, но и на все живое. Во время повышения солнечной активности усиливаются полярное сияние, циркуляция атмосферы, возрастают увлажнение, прирост фитомассы, активизируется деятельность микробов и вирусов; медики связывают с ними эпидемии гриппа, рост сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящее время известно множество ритмов в человеческом организме, например работа сердца, дыхание, биоэлектрическая активность мозга. В теории так называемых биологических хронометров особое значение придается ритмам и периодам в 23 дня (физический ритм), 28 дней (эмоциональный ритм) и 33 дня (интеллектуальный ритм), которые отсчитываются со дня рождения. Вполне возможно, что эти периоды обусловлены космическими причинами.

Причиной *ритмов, имеющих астрономическую природу*, могут быть изменения движения Земли по орбите и под влиянием других планет, например изменение наклона земной оси к плоскости орбиты. Эти возмущения влияют на интенсивность облучения Земли Солнцем и на климат. С ритмами такого рода (их продолжительность 21 тыс., 41 тыс., 90 тыс. и 370 тыс. лет) связывают многие события на Земле в четвертичном периоде (последние 1,8 млн лет), прежде всего развитие оледенений. Астрономическую природу имеют и самые короткие ритмы - суточный и годовой - и ритмы, обусловленные взаимным перемещением тел в системе Земля - Солнце - Луна. В результате перемещения Солнца и планет в системе возникают неравенство сил тяготения и изменение приливообразующих сил. Эту природу имеют ритмы увлажненности продолжительностью 1850-1900 лет. Каждый такой цикл начинается с прохладной влажной фазы, затем следует усиление оледенения, увеличение стока, повышение уровня озер, цикл завершается сухой теплой фазой, во время которой ледники отступают, реки и озера мелеют. Эти ритмы вызывают смещение природных зон на 2-3° по широте.

Давно известно, что Луна и Солнце вызывают приливы в водной, воздушной и твердой оболочках Земли. Ярче всего проявляются приливы в гидросфере, вызванные действием Луны. В течение лунных суток наблюдаются два подъема уровня Океана (приливы) и два опускания (отливы). В литосфере размах колебаний приливной волны на экваторе достигает 50 см, а на широте Москвы — 40 см. Атмосферные приливные явления оказывают существенное влияние на общую циркуляцию атмосферы. Солнце также вызывает все виды приливов, но приливообразующая сила Солнца составляет всего 0,46 приливообразующей силы Луны. В зависимости от взаимного положения Земли, Луны и Солнца приливы, вызванные одновременным действием Луны и Солнца, либо усиливают, либо ослабляют друг друга.

Геологические ритмы - самые продолжительные из известных. Природа их еще недостаточно изучена, но, по-видимому, она также связана с астрономическими факторами. Эти ритмы проявляются прежде всего в геологических процессах. Примером геологического ритма могут служить тектонические циклы, сопоставимые с так называемым галактическим годом - временем полного оборота Солнечной системы вокруг ее галактической оси. Выделяют четыре основных тектонических цикла: каледонский (первая половина палеозоя), герцинский (вторая половина палеозоя), мезозойский и альпийский. В начале каждого такого цикла происходили морские трансгрессии, климат был относительно однообразным; завершение цикла знаменовалось крупными горообразовательными движениями, расширением суши, усилением климатических контрастов, большими преобразованиями в органическом мире.

Изучение природных ритмов и их причин позволяет прогнозировать течение природных процессов. Особое значение имеют прогнозы явлений, вызывающих природные катастрофы (засухи, наводнения, землетрясения, лавины, обвалы). В общем случае знание функционирования географической оболочки дает возможность выявлять тенденции, существующие в природе, учитывать их при вмешательстве в ход природных процессов, предвидеть последствия различных преобразований природы.

§ 10.3. История развития географической оболочки

Современная структура географической оболочки - результат очень длительной эволюции [3, 8, 11, 23]. В ее развитии принято выделять три основных этапа — добиогенный, биогенный и антропогенный (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Этапы развития географической оболочки [28]

Этап	Геологические рамки	Длительность, лет	Основные события
Добиогенный	Архейская и протерозойская эры 3700-570 млн лет назад	3000 млн	Живые организмы принимали слабое участие в формировании географической оболочки
Биогенный	Фанерозойский зон (палеозойская, мезозойская и большая часть кайнозойской эры) 570 млн - 40 тыс. лет назад	Около 570 млн	Органическая жизнь - ведущий фактор в развитии географической оболочки. В конце периода появляется человек
Антропогенный	С конца кайнозойской эры до наших дней 40 тыс. лет назад - наши дни	40 тыс.	Начало этапа совпадает с появлением современного человека (<i>Homo sapiens</i>). Человек начинает играть ведущую роль в развитии географической оболочки

Добиогенный этап отличался слабым участием живого вещества в развитии географической оболочки. Этот самый длительный этап продолжался первые 3 млрд лет

геологической истории Земли - весь архей и протерозой. Палеонтологические исследования последних лет подтвердили идеи, высказанные еще В.И. Вернадским и Л.С. Бергом, что лишенных жизни (как их называют, азойных) эпох, по-видимому, не было в течение всего геологического времени или этот отрезок времени крайне мал. Однако этот этап можно называть добиогенным, так как органическая жизнь в это время не играла тогда определяющей роли в развитии географической оболочки.

В архейскую эру на Земле в бескислородной среде существовали самые примитивные одноклеточные организмы. В слоях Земли, образовавшихся около 3 млрд лет назад, обнаружены остатки нитей водорослей и бактериоподобных организмов. В протерозое господствовали одноклеточные и многоклеточные водоросли и бактерии, появились первые многоклеточные животные. На добиогенном этапе развития географической оболочки в морях были накоплены мощные толщи железистых кварцитов (джеспилитов), свидетельствующих о том, что тогда верхние части земной коры были богаты соединениями железа, а атмосфера характеризовалась очень низким содержанием свободного кислорода и высоким содержанием углекислого газа.

Биогенный этап развития географической оболочки по времени соответствует фанерозойскому зону, включающему палеозойскую, мезозойскую и почти всю кайнозойскую эры. Его длительность оценивается в 570 млн лет. Начиная с нижнего палеозоя органическая жизнь становится ведущим фактором в развитии географической оболочки. Слой живого вещества (так называемый биостром) получает глобальное распространение, с течением времени все более усложняются его структура и строение самих растений и животных. Жизнь, зародившаяся в море, охватила затем сушу, воздух, проникла в глубины океанов.

В процессе развития географической оболочки условия существования живых организмов неоднократно менялись, что приводило к вымиранию одних видов и приспособлению других к новым условиям.

Многие ученые связывают коренные перемены в развитии органической жизни, в частности выход растений на сушу, с крупными геологическими событиями - с периодами усиленного горообразования, вулканизма, регрессий и трансгрессий моря, с движением материков. Принято считать, что крупномасштабные преобразования органического мира, в частности вымирание одних групп растений и животных, появление и прогрессивное развитие других, были связаны с процессами, происходящими в самой биосфере, и с теми благоприятными обстоятельствами, которые создавались в результате деятельности абиогенных факторов. Так, повышение содержания углекислого газа в атмосфере во время интенсивной вулканической деятельности сразу активизирует процесс фотосинтеза. Регрессия моря создает благоприятные условия для формирования органической жизни на обмелевших участках. Существенные изменения экологических условий часто приводят к гибели одних форм, что обеспечивает бесконкурентное развитие других. Есть все основания полагать, что эпохи существенной перестройки живых организмов находятся в прямой связи с основными эпохами складкообразования. В эти эпохи формировались высокие складчатые горы, резко усиливалась расчлененность рельефа, активизировалась вулканическая деятельность, обострялась контрастность сред и интенсивно протекал процесс обмена веществом и энергией. Изменения внешней среды служили толчком к видообразованию в органическом мире.

На биогенном этапе биосфера начинает оказывать мощное воздействие на структуру всей географической оболочки. Возникновение фотосинтезирующих растений коренным образом изменило состав атмосферы: снизилось содержание углекислого газа и появился свободный кислород. В свою очередь накопление кислорода в атмосфере вело к изменению характера живых организмов. Поскольку свободный кислород оказался сильнейшим ядом для не приспособленных к нему организмов, многие виды живых организмов вымерли. Наличие кислорода способствовало образованию озонового экрана на высоте 25-30 км, который поглощает коротковолновую часть ультрафиолетовой

солнечной радиации, губительную для органической жизни.

Под влиянием живых организмов, которые испытывают все компоненты географической оболочки, меняются состав и свойства речных, озерных, морских и подземных вод; происходит образование и накопление осадочных пород, образующих верхний слой земной коры, накопление органогенных пород (угля, коралловых известняков, диатомитов, торфа); формируются физико-химические условия миграции элементов в ландшафтах (в местах гниения живых органических соединений образуется восстановительная среда с недостатком кислорода, а в зоне синтеза водных растений образуется окислительная среда с избытком кислорода), условия миграции элементов в земной коре, что в итоге определяет ее геохимический состав. По словам В.И. Вернадского, жизнь является великим постоянным и непрерывным нарушителем химической коности поверхности нашей планеты.

Географической оболочке свойственна выраженная зональность (см. § 10.1). О зональности добиогенной геосферы известно мало, очевидно, что зональные изменения ее в то время были связаны с изменениями климатических условий и коры выветривания. На биогенном этапе в зональности географической оболочки ведущую роль играют изменения живых организмов. Начало зарождения географической зональности современного типа относят к концу мелового периода (67 млн лет назад), когда появляются цветковые растения, птицы и набирают силу млекопитающие. Благодаря теплоте и влажному климату пышные тропические леса распространились от экватора до высоких широт. Изменение очертаний материков на протяжении дальнейшей истории развития Земли приводило к изменению климатических условий, а соответственно и почвенно-растительного покрова, и животного мира. Постепенно усложнялись структура географических зон, видовой состав и организация биосферы.

В палеогене, неогене и плейстоцене происходило постепенное охлаждение земной поверхности; кроме того, суша расширилась и ее северные побережья в Евразии и Северной Америке продвигались в более высокие широты. В начале палеогена севернее экваториальных лесов появились сезонновлажные субэкваториальные леса, преимущественно листопадные, в Евразии они доходили до широт современных Парижа и Киева. В наше время леса такого типа встречаются лишь на полуостровах Индостан и Индокитай.

Последующее похолодание привело к развитию субтропических, а в конце палеогена (26 млн лет назад) и широколиственных лесов умеренного пояса. В настоящее время такие леса находятся гораздо южнее - в центре Западной Европы и на Дальнем Востоке. Субтропические леса отступили к югу. Более четко обособились природные зоны континентальных районов: степи, обрамленные на севере лесостепями, а на юге - саваннами, которые были распространены по всей Сахаре, на полуострове Сомали и на востоке Индостана.

В неогеновом периоде (25-1 млн лет назад) похолодание продолжалось. Считается, что на протяжении этого периода земная поверхность охладилась на 8 °С. Произошло дальнейшее усложнение зональной структуры: на равнинах северной части Евразии возникла зона смешанных, а затем и хвойных лесов, а более теплолюбивые лесные зоны сузились и сдвинулись к югу. В центральных частях континентальных районов возникли пустыни и полупустыни; на севере их обрамляли степи, на юге — саванны, а на востоке - редколесья и кустарники. В горах более отчетливо проявилась высотная зональность. К концу неогена произошли существенные изменения природы Земли: усилилась ледовитость Арктического бассейна, интенсивнее стали циклонические осадки в средних широтах Евразии, уменьшилась сухость климата в Северной Африке и Передней Азии. Продолжавшееся похолодание привело к оледенению в горах: Альпы и горы Северной Америки покрылись ледниками. Похолодание, особенно в высоких широтах, достигло критического рубежа.

Для большей части четвертичного периода (приблизительно 1 млн - 10 тыс. лет назад)

характерны последние в истории Земли оледенения: температура была на 4—6 °С ниже современной. Там, где выпадало достаточное количество осадков в виде снега, ледники рождались и на равнинах, например в субполярных широтах. В этой обстановке холод как бы аккумулировался, поскольку отражательная способность снежной и ледниковой поверхностей достигает 80%. Вследствие этого ледник расширялся, образуя сплошной щит. Центр оледенения в Европе находился на Скандинавском полуострове, а в Северной Америке - на Баффиновой Земле и Лабрадоре.

В настоящее время установлено, что оледенения как бы пульсировали, прерываясь межледниковьями. Причины пульсаций все еще являются предметом споров ученых. Некоторые из них связывают похолодание с активизацией вулканической деятельности. Вулканическая пыль и пепел заметно усиливают рассеяние и отражение солнечной радиации. Так, при уменьшении суммарной солнечной радиации только на 1% вследствие запыленности атмосферы средняя планетарная температура воздуха должна понижаться на 5 °С. Этот эффект усиливает возрастание отражающей способности самой охваченной оледенением территории.

В период оледенения появилось несколько природных зон: сам ледник, который образовал полярные пояса (арктический и антарктический); зона тундры, возникшая вдоль края арктического пояса на вечной мерзлоте; тундростепи в континентальных более сухих районах; луга в приокеанических частях. Эти зоны отделялись от отступающей к югу тайги зоной лесотундры.

Антропогенный этап формирования географической оболочки назван так в связи с тем, что развитие природы на протяжении последних сот тысячелетий происходило в присутствии человека. Во второй половине четвертичного периода появились древнейшие люди архантропы, в частности питекантроп (в Юго-Восточной Азии). Архантропы существовали на Земле длительное время (600-350 тыс. лет назад). Однако антропогенный период в развитии географической оболочки наступил не сразу вслед за появлением человека. Сначала воздействие человека на географическую оболочку было ничтожным. Собираательство и охота с помощью дубинок или почти необработанного камня по своему воздействию на природу мало отличали древнейшего человека от животных. Древнейший человек не знал огня, не имел постоянных жилищ, не пользовался одеждой. Поэтому он почти полностью находился во власти природы, а его эволюционное развитие определялось в основном биологическими закономерностями.

На смену архантропам пришли палеоантропы - древние люди, просуществовавшие в общей сложности свыше 300 тыс. лет (350-38 тыс. лет назад). В это время первобытный человек овладел огнем, что окончательно отделило его от животного царства. Огонь стал средством охоты и защиты от хищников, изменил состав пищи, помог человеку в борьбе с холодом, что способствовало резкому расширению области его обитания. Палеоантропы стали широко использовать пещеры в качестве жилищ, им была известна одежда.

Примерно 38-40 тыс. лет назад палеоантропов вытеснили неолиты, к которым относится современный человек *Homo sapiens*. Именно к этому времени и относят начало антропогенного периода. Создав мощные производительные силы, которые участвуют в глобальном масштабе во взаимодействии всех сфер Земли, человек придает целенаправленность процессу развития географической оболочки. Почувствовав свое могущество, человек на собственном опыте убедился, что его благополучие неразрывно связано с полнокровным развитием природы. Осознание этой истины знаменует начало нового этапа эволюции географической оболочки — этапа сознательного регулирования природных процессов, имеющего целью достижение гармоничного развития системы «природа - общество - человек».

§ 10.4. Географическая среда и глобальные проблемы человечества

Географическая среда и ее взаимосвязь с обществом

К базовым в естествознании относится понятие *географической среды*, под которой обычно понимают часть географической оболочки, в той или иной мере освоенная человеком и вовлеченная в общественное производство. Само понятие «географическая среда» было введено Э. Реклю и Л.И. Мечниковым. Географическая среда представляет собой сложное сочетание природных и антропогенных компонентов, составляющих материальную основу существования человеческого общества. Считается, что со временем географическая среда будет все больше расширяться и в конце концов ее границы совпадут с географической оболочкой.

В настоящее время понятие «географическая среда» часто заменяют более общим — «окружающая среда», которая включает в себя часть Солнечной системы, поверхность Земли и ее недра, которые попадают в сферу деятельности человека, а также созданный им материальный мир. Окружающую среду обычно разделяют на естественную, которая включает в себя неживую и живую части природы - географическую оболочку (биосферу), и искусственную, которая включает все то, что является продуктом человеческой деятельности, - предметы материальной и духовной культуры (города, предприятия, дома, дороги, автомобили и т.д.).

Человек как биологический вид связан с остальными компонентами географической оболочки (биосферы), а его организм входит в круговорот природы и подчиняется ее законам. Человеческий организм, как и организмы других животных, реагирует на суточные и сезонные ритмы, изменения окружающей температуры, интенсивность солнечного излучения и т.д. Но человек не просто биологический вид. Он является составной частью особой социальной среды - общества. Среда человека — это не только природа, она формируется также социально-экономическими условиями. Люди могут не только приспосабливаться к природе, но и изменять ее. Сам процесс труда как основа развития общества есть процесс активного воздействия человека на природу.

Человек и общество неразрывно связаны с географической средой. Степень воздействия природы и зависимость человека от нее являются предметом изучения географического детерминизма. В настоящее время идеи географического детерминизма развиваются в социальной географии, изучающей территориальную организацию общества, и в геополитике, которая изучает зависимость внешней политики государств и международных отношений от системы политических, экономических и военных взаимосвязей, обусловленных географическим положением страны (региона) и другими физико- и экономико-географическими факторами (климатом, природными ресурсами и т.д.).

Оригинальную концепцию в русле географического детерминизма предложил в 1924 г. Л.И. Мечников в работе «Цивилизация и великие исторические реки» [26]. Он утверждал, что развитие человеческого общества определяется в первую очередь освоением водных ресурсов и путей сообщения. Согласно Мечникову, развитие цивилизаций пережило три стадии, которые последовательно сменяли друг друга. На первой стадии - речной — общество развилось благодаря освоению и использованию великих рек Китая, Индии, Египта и Месопотамии. На второй стадии — средиземноморской — люди овладели морскими пространствами и перемещались с континента на континент в пределах Европы, Азии и Африки. Океаническая стадия началась с открытием Америки и ее активным освоением и объединила все цивилизации в масштабе Земли.

Идеи взаимосвязи окружающей среды и общества нашли отражение в работах В.И. Вернадского, К.Э. Циолковского, А.Л. Чижевского. Так, Чижевский обратил внимание на взаимосвязь активности Солнца с биологическими и социальными процессами на Земле. На основе большого фактического материала он разработал концепцию, согласно которой космические ритмы влияют на биологическую (физическое и психическое состояние) и общественную (войны, бунты, революции) жизнь человека. По подсчетам Чижевского, во время минимальной солнечной активности происходит не более 5% всех социальных

проявлений в обществе, тогда как во время пика активности Солнца их доля достигает 60% [37].

Относительно вопроса, влияет ли географическая среда на возникновение, развитие и исчезновение тех или иных этносов на Земле (этногенез), не сложилось единого мнения. С точки зрения Ю.В. Бромлея, С.А. Токарева и других отечественных ученых, этногенез - это прежде всего социальный процесс и на формирование этносов в первую очередь влияют социально-экономические факторы, поэтому при его изучении целесообразно использовать формационный подход и анализировать внутриэтнические процессы [4].

Другой точки зрения придерживался Л.Н. Гумилев [14]. Согласно его гипотезе, главную роль в формировании этносов играют биологические и психологические факторы, а следовательно, географическая среда. Гумилев полагал, что единственным надежным критерием для характеристики этноса и суперэтноса (группы этносов) может служить стереотип поведения, поэтому этногенез следует рассматривать не как социальный, а как природный процесс. По его мнению, большинство этносов (суперэтносов) переживают фазы становления, подъема, надлома, упадка и гомеостаза. Движущей силой этногенеза Гумилев считал *пассионарность* - непреодолимое внутреннее стремление к деятельности, направленное на достижение какой-либо цели и свойственное отдельным лицам, коллективам и целым народам, попавшим в зону так называемого пассионарного толчка. По этой гипотезе, пассионарность обусловлена неравномерностью биохимической энергии живого вещества биосферы во времени и в пространстве.

В настоящее время получила широкое распространение другая оригинальная идея - учение о *ноосфере* (сфере разума). В основании этого учения лежат идеи, высказанные в начале XX в. Э. Леруа и П. Тейяром де Шарденом, которые рассматривали ноосферу как некое идеальное образование, внебиосферную оболочку мысли, окружающую Землю [36]. Основы современного учения о ноосфере сформулировал В.И. Вернадский. Он полагал, что ноосфера - это, во-первых, состояние планеты после того, как человек стал крупной преобразующей силой; во-вторых, область активного проявления научной мысли; в-третьих, главный фактор перестройки и изменения биосферы [6, 7]. Сейчас считается, что ноосфера представляет собой область взаимодействия человека и природы, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится основным определяющим фактором развития; ноосфера есть качественно высшая стадия развития биосферы, связанная с коренным преобразованием как природы, так и самого человека, т.е. ноосфера - это качественно новое состояние биосферы, ее очередная трансформация в ходе эволюции. Структура ноосферы включает: человечество, социальные системы, науку, технику и технологии в единстве с биосферой.

Глобальные проблемы человечества

Характер взаимодействия общества и природы во многом обусловлен степенью общественного развития. Влияние географической среды на общество проявляется в общественном разделении труда, размещении и развитии различных отраслей производства, а следовательно, в уровне производительности труда, развитии способностей человека, темпах развития общества в целом, развития производственных отношений, социально-психологическом облике и настрое общества, т.е. на его менталитете.

Влияние человека на природу сводится к четырем основным видам изменения:

◇ структуры земной поверхности (распашка степей, вырубка лесов, мелиорация, создание искусственных озер и морей и т.д.);

◇ состава биосферы, круговорота и баланса слагающих ее веществ (выброс различных веществ в атмосферу и в водные объекты, изъятие ископаемых, изменение влагооборота и т.д.);

◇ энергетического, в частности теплового, баланса отдельных районов земного шара и всей планеты;

◇ биоты (совокупность живых организмов) в результате истребления некоторых видов живых организмов, создания новых пород животных и сортов растений, перемещения их на новые места обитания.

Иллюстрацией необходимости учета всего комплекса природных факторов в процессе природопользования могут служить ставшие уже хрестоматийными два примера [1]: 1) американские фермеры для улучшения травостоя лугов массово применили гербициды. Но это погубило ивняки, служившие пищей бобрам.

Бобры покинули реку, высокий уровень которой поддерживался построенными ими плотинами. Плотины постепенно разрушились, река обмелела, погибла водившаяся в ней рыба. Затем во всей местности понизился уровень грунтовых вод и богатые пойменные луга, ради которых были применены фитонциды (гербициды), осуходолились и потеряли ценность. Задуманное мероприятие не сработало потому, что люди попытались воздействовать лишь на одно звено сложной цепи причин и следствий; 2) в Китае были уничтожены все воробьи, поедавшие огромное количество зерна. Но воробьи, сами будучи зерноядными, кормят птенцов насекомыми. Поэтому истребление воробьев нарушило сложившееся в природе равновесие: гусеницы невероятно размножились и обрушились на сады и тутовники.

В XX в. человечество вплотную столкнулось с глобальными проблемами, которые не могут быть решены какой-либо одной страной, они требуют объединенных усилий всех государств и народов. Многие глобальные проблемы сводятся к несовершенству взаимоотношений общества и природы, приводящему к кризису. В настоящее время человечество располагает таким техническим потенциалом, который способен существенно нарушить биологическое равновесие. Из-за резкого увеличения численности населения, индустриализации и урбанизации хозяйственные нагрузки стали превышать способность экологических систем к самоочищению и регенерации. Это в свою очередь обуславливает нарушение круговоротов веществ в биосфере: истощаются природные ресурсы, что приводит к возникновению ресурсно-энергетических проблем, и накапливается большое количество вредных веществ, вследствие чего возникают экологические проблемы.

Ресурсно-энергетические проблемы связаны с тем, что с некоторого времени потребность в изъятии из природы ресурсов начинает превышать способность природы к регенерации, поскольку многие природные ресурсы конечны, а численность населения Земли постоянно возрастает. Решение этой проблемы тесно смыкается с решением других проблем: рационального природопользования, поисков альтернативных способов получения энергии, регулирования численности населения, продовольственной проблемы и т.д.

Экологические проблемы связаны с ухудшением качества окружающей среды в связи с нарушением баланса веществ в процессе природопользования по следующим причинам:

◇ сведение лесов. Особенно это заметно в Амазонии и Юго-Восточной Азии, где планомерно уничтожаются леса. Это приводит к нарушению водного режима и снижает содержание кислорода в атмосфере;

◇ процесс опустынивания, в результате которого выводится из оборота большое количество сельскохозяйственных и других земель. Во многом это обусловлено нерациональным использованием почв и перевыпасом скота;

◇ истощение водных ресурсов и ухудшение их качества;

◇ загрязнение окружающей среды в результате добычи полезных ископаемых и их переработки в конечный продукт, из-за чего происходит выброс вредных веществ в почвы, воду, атмосферу, происходит деградация биосферы, что в конечном счете отражается на здоровье людей;

◇ разрушение озонового слоя атмосферы, защищающего Землю от избыточного ультрафиолетового излучения. Считается, что повышение объема антропогенных выбросов определенного класса летучих соединений в атмосферу особенно сильно

разрушает озоновый слой;

◇ парниковый эффект вследствие избыточного выброса в атмосферу диоксида углерода.

Рассмотрим подробнее некоторые глобальные проблемы. Так, острота водной проблемы в целом на Земле обусловлена тем, что хорошие воды портит человек своей деятельностью, потребление воды растет, а водные ресурсы не увеличиваются. Воды на земной поверхности много - почти 1,5 млрд км², но мало хорошей пресной воды, необходимой для людей и техники. Пресная вода (льды, озера, реки) составляет только 1/2000 всей воды, и почти вся она сосредоточена в ледниках, главным образом в Антарктиде. Доля доступной жидкой пресной воды не превышает 1/40 всей пресной воды; но не всю жидкую пресную воду можно использовать, а только ее избыток - сток, иначе пресные воды истощатся. Кроме того, водные запасы распределены неравномерно: многие районы и государства бедны водой.

Решение проблемы пищевых ресурсов связано с вопросом о том, истощаются ли природные ресурсы Земли. Человек потребляет в пищу главным образом органическое вещество. Каждый человек должен потреблять в год около 40 кг мяса, около 20 кг рыбы и, кроме того, растительную пищу. Органическое вещество, потребляемое человеком, является частью биомассы Земли, которая составляет около $2,7 \cdot 10^{12}$ т, а людей $6 \cdot 10^9$. Следовательно, на одного человека приходится около 50 т органического вещества. Но чтобы не истощить биомассу, человек должен использовать ее прирост - урожай, зависящий от продуктивности животных и растений. Однако население Земли питается неравномерно, и хуже в Южной Америке, развивающихся странах Африки и Южной Азии, где отмечается особенно большой прирост населения. В этих регионах урожайность пшеницы в 3-4 раза ниже среднемировой, и население недоедает. Чтобы ликвидировать зону голода, надо увеличить потребление пищи в 3 раза. Для этого нужны огромные средства, равные затратам, понесенным государствами во Второй мировой войне.

Распространено мнение, что земной поверхности угрожает перегрев из-за парникового эффекта. Выделяют следующие причины антропогенного перегрева: накопление солнечной теплоты в результате человеческой деятельности и увеличение энергии, вырабатываемой человечеством. Земная атмосфера задерживает тепло поверхности Земли так же, как стекло сохраняет тепло в парнике. Парниковый эффект усиливается с увеличением содержания в атмосфере углекислого газа и водяного пара. Главный источник углекислого газа - природный - дыхание растений (ночью) и животных — действует в течение нескольких миллиардов лет. Второй источник — антропогенный — широкое использование человеком горючих полезных ископаемых - угля, нефти и газа (метана), при сжигании которых выделяется углекислый газ. По мере развития промышленности количество углекислого газа в атмосфере возрастает каждые 10 лет на 10%. Уже сегодня его вдвое больше, чем было в атмосфере в конце XIX в. Парниковый эффект атмосферы влияет и на температуру земной поверхности. Согласно одной из оценок, в 3000 г. температура ее увеличится на 12 °С.

Вторая причина нагревания земной поверхности - деятельность человека, который вырабатывает энергию во все возрастающих количествах. Эта энергия поступает в географическую оболочку. Согласно второму закону термодинамики, все виды энергии переходят в тепловую, следовательно, земная поверхность все больше разогревается.

В настоящее время принимаются меры по ликвидации отдельных противоречий во взаимодействии природы и общества. От того, как каждый из нас будет участвовать в этом процессе, зависит будущее человечества.

Таким образом, суть современных глобальных проблем человечества сводится к следующим основным моментам: быстрое истощение природных ресурсов - сырьевых, энергетических; быстрое загрязнение природной среды - атмосферы, литосферы, гидросферы. Все это накладывается на быстрое увеличение численности человечества. Следовательно, чтобы выйти из кризиса, необходимы разумное самоограничение в расходовании природных ресурсов, особенно энергетических источников; поддержание

динамического равновесия между природой и человеком; формирование в обществе экологического сознания. Это требует разработки новых методологических и методических подходов, в первую очередь в рамках естествознания, которые бы могли позволить выйти из современного экологического кризиса и решить глобальные проблемы человечества.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое географическая оболочка и каковы ее границы? Что дает основания говорить о единстве географической оболочки?
2. Что такое географическое пространство и как оно соотносится с географической оболочкой?
3. Чем различаются понятия «географическая оболочка» и «биосфера»? В чем сущность учения В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере?
4. Что такое почва? Каковы ее основные признаки? Почему В.В. Докучаев называл почвы зеркалом ландшафта?
5. За счет каких энергетических источников существует географическая оболочка?
6. Что такое географическая зональность и в чем она проявляется?
7. Какие виды симметрии в пределах географической оболочки вы знаете? В чем они проявляются?
8. Что такое круговорот веществ в природе? Какие круговороты вы знаете? Кратко охарактеризуйте их.
9. Какие ритмичные процессы в географической оболочке вы знаете? Дайте их характеристики.
10. Как развивалась географическая оболочка? Назовите основные этапы этого развития и охарактеризуйте их.
11. Что такое географический детерминизм и в чем его сущность?
12. Какую концепцию выдвинул Л.И. Мечников в работе «Цивилизация и великие исторические реки»? В чем ее сущность?
13. Каковы основные положения теории развития этносов Л.Н. Гумилева?
14. В чем выражаются противоречия в системе «природа и общество»?
15. Что такое глобальные проблемы человечества и каковы их причины? Какие пути решения этих проблем вы знаете?

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М., 1975.
2. Баландин Р.К., Бондарев Л.Г. Природа и цивилизация. М., 1988.
3. Боков В.А., Селиверстов Ю.П., Черванев И.Г. Общее землеведение. СПб., 1999.
4. Бромлей Ю.В. Современные проблемы этнографии. М., 1984.
5. Бунге В. Теоретическая география. М., 1967.
6. Вернадский В.И. Биосфера. М., 1967.
7. Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. М., 1991.
8. Вронский В.А., Войткевич Г.В. Основы палеогеографии. Ростов н/Д, 1997.
9. Географический энциклопедический словарь (понятия и термины). М., 1988.
10. Грегори К. География и географы. Физическая география. М., 1988.
11. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. М., 1966.
12. Григорьев А.А. Экологические уроки исторического прошлого и современности. Л., 1991.
13. Грядовой Д.И. Концепции современного естествознания. Структурный курс основ естествознания. М., 2000.
14. Гумилев Л.Н. География этноса в исторический период. Л., 1990.
15. Жекулин В.С. Введение в географию. Л., 1989.

16. *Забелин И.М.* Теория физической географии. М., 1956.
17. *Забелин И.М.* Физическая география в современном естествознании. М., 1978.
18. *Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., 1991.
19. *Колесник С.В.* Общие географические закономерности Земли. М., 1970.
20. Кружоворот вещества в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека / Под ред. А.М. Рябчикова. М., 1980.
21. *Лямин В.С.* География и общество. М., 1978.
22. *Максаковский В.П.* Географическая культура. М., 1997.
23. *Марков К.К.* Палеогеография. М., 1960.
24. *Марков К.К., Добродеев О.П., Симонов Ю.Г., Сутова И.А.* Введение в физическую географию. М., 1973.
25. *Мересте У.И., Ныммик С.Я.* Современная география. Вопросы теории. М., 1984.
26. *Мечников Л.И.* Цивилизация и великие исторические реки. М., 1995.
27. *Мильков Ф.Н.* Общее землеведение. М., 1990.
28. Мир географии: География и географы / Ред. Г.И. Рычагов и др. М., 1984.
29. *Неклюкова Н.П., Душина И.В., Раковская Э.М. и др.* География. М., 2001.
30. *Одум Ю.* Экология. М., 1986. Т. 1-2.
31. *Разумихин Н.В.* Природные ресурсы и их охрана. Л., 1987.
32. *Реймерс Н.Ф.* Экология. М., 1994.
33. *Рябчиков А.М.* Структура и динамика геосферы. М., 1972.
34. *Селиванов А. О.* Природа, история, культура: экологические аспекты культуры народов мира. М., 2000.
35. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, 1978.
36. *Тейяр де Шарден П.* Феномен человека. М., 1987.
37. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М., 1976.

Глава 11

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ

§ 11.1. Глобальный эволюционизм

Становление эволюционных идей в науке

В настоящее время учеными предпринимаются попытки сформулировать новые общие теории, которые бы адекватно представляли современные взгляды на природу, а также взаимоотношения общества и природы. Современные методологи науки и специалисты в различных областях естествознания наиболее перспективной системой взглядов считают *эволюционно-синергетическую парадигму*. Именно с ней многие ученые связывают дальнейшее развитие естествознания.

Как мы знаем, все в природе - галактики, звезды, планеты, мир неживой и живой природы и т.д. - движется и развивается. Вероятно, единая эволюционная теория будет иметь огромное научное, теоретико-познавательное и практическое значение (если она может быть построена). Но и сейчас практически все отрасли естествознания пронизаны принципом эволюционизма, т.е. убеждением в том, что материя, Вселенная и все ее элементы развиваются (эволюционируют). При этом подразумевается, что *эволюция - развитие, процесс изменения (преимущественно необратимого) живой и неживой природы*. Эволюция может вести к усложнению, дифференциации, повышению уровня организации системы (прогрессивная эволюция; или же, наоборот, к понижению этого уровня (регресс)).

Принцип эволюционизма уходит корнями к воззрениям античных философов (Гераклита, Эмпедокла, Демокрита, Лукреция и др.), которые высказывали идеи об

изменяемости окружающего мира. В естествознание идея развития мира начала активно внедряться в XVIII в. Принцип эволюционизма в простейших своих формах использовался при описании живой природы, особенно в трудах трансформистов, которые высказывались в пользу изменения и превращения органических форм и происхождения одних организмов от других (Р. Гук, Э. Дарвин (дед Ч. Дарвина), Д. Дидро, Ж.Л. Бюффон, Э.Ж. Сент-Илер, И.В. Гёте, К.Ф. Рулье, Ж.Б. Ламарк). В понимании сущности эволюции явлений в неживой природе большую роль сыграли идеи И. Канта, который в своей работе «Всеобщая естественная история и теория неба» (1755) предпринял попытку объяснить происхождение мира исходя из физических законов.

Эволюционное учение достигает своего расцвета в XIX в. Теоретическому моделированию развивающихся объектов стали уделять все большее и большее внимание сначала в науках о Земле и биологии, а далее в социологии. Г.В.Ф. Гегель создал систематическую теорию диалектики, где центральным понятием было развитие, а противоречие выступало внутренним источником развития. Широкую популярность эволюционное учение получило после появления концепции Ч. Дарвина об эволюции живых объектов путем естественного отбора. Заслуга формулирования ряда законов, которые раскрывают сущность эволюционных процессов в обществе, безусловно, принадлежит К. Марксу. Немецкий языковед А. Шлейхер, рассматривавший естественные языки как единый организм, заложил основы теории эволюции естественных языков.

В 1850 г. Р.Ю.Э. Клаузиус сформулировал второе начало термодинамики (одновременно с У. Томсоном), а позднее ввел понятие энтропии и предложил гипотезу «тепловой смерти» Вселенной. На основе понятия энтропии и представления о необратимых процессах, зависящих от времени, было введено понятие «стрелы времени» физических процессов. Выводы Клаузиуса о «тепловой смерти» Вселенной послужили толчком к развитию более сложных моделей эволюции (А. Эйнштейн, А.А. Фридман и Г.А. Гамов и др.).

Эволюционные идеи проникали в геологию, биологию, географию в XIX — первой половине XX в. В каждой из отраслей естествознания они имели свои формы реализации. Поэтому не было выработано единых концептуальных основ, позволявших посмотреть на проблему с общих позиций. Этому мешало и то, что в арсенал физических и химических отраслей знания эволюционные идеи вошли достаточно поздно. Вплоть до второй половины XX в. в этих отраслях господствовала исходная абстракция закрытой обратимой системы, в которой фактор времени не играет роли. В конечном счете изучались закрытые равновесные системы, а неравновесные процессы рассматривались как возмущения, второстепенные отклонения, которыми можно пренебречь в окончательном описании познаваемого объекта. Во многом предпосылкой возникновения эволюционно-синергетической парадигмы было появление кибернетики, общей теории систем, а далее синергетики, в рамках которой рассматриваются приведенные ниже идеи.

Основные принципы глобального эволюционизма

Только в конце XX в. естествознание приступило к созданию теоретических и методологических средств для построения единой модели универсальной эволюции, выявления общих законов природы, связывающих в единое целое происхождение Вселенной, возникновение Солнечной системы и Земли, возникновение жизни и, наконец, возникновение человека и общества. Именно такой моделью и является концепция глобального эволюционизма. В этой концепции Вселенная определяется как развивающееся во времени природное целое, а вся история Вселенной от Большого взрыва до возникновения общества рассматривается как единый процесс, в котором космический, химический, биологический и социальный типы эволюции преемственно и генетически связаны между собой.

В настоящее время считается, что эволюция есть процесс возникновения более сложных структур из более простых, т.е. суть эволюции состоит в интеграции более

простых элементов в целостные образования более высокого уровня, в более сложные системы, характеризующиеся новыми качествами. Перечислим наиболее важные фазы эволюции окружающего нас мира [29]:

- ◇ космическая эволюция (Большой взрыв, образование элементарных частиц, формирование атомов и молекул, возникновение галактик, звезд и планет и т.д.);
- ◇ химическая эволюция (образование системы химических элементов и соединений, возникновение органических соединений, полимеризация в цепи органических молекул);
- ◇ геологическая эволюция (образование структур земной коры, гор, вод и т.д.);
- ◇ эволюция протоклетки (самоорганизация биополимеров и хранение информации на молекулярном уровне, пространственная индивидуализация, возникновение молекулярного - языка);
- ◇ дарвиновская эволюция (развитие видов животных и растений и их взаимодействие, возникновение экосистемы на Земле);
- ◇ эволюция человека (развитие труда, языка и мышления);
- ◇ эволюция общества (распределение труда, общественная организация, техника, общественные формации и т.д.);
- ◇ эволюция информации и обмена информацией (обогащение и хранение знания, развитие связи, науки и т.д.).

§ 11.2. Самоорганизация как элементарный процесс эволюции

Самоорганизация и классическая термодинамика

Согласно современным представлениям, элементарным процессом эволюции является самоорганизация. Можно сказать, что в сущности эволюция состоит из бесконечной последовательности процессов самоорганизации. В широком смысле слова *под самоорганизацией понимают тенденцию развития природы от менее сложных к более сложным и упорядоченным формам организации материи*. В более узком понимании *самоорганизация есть спонтанный переход открытой неравновесной системы от простых и неупорядоченных форм организации к более сложным и упорядоченным*. Самоорганизующиеся системы должны отвечать определенным требованиям: 1) они должны быть неравновесными или находиться в состоянии, далеком от термодинамического равновесия; 2) они должны быть открытыми и получать приток энергии, вещества и информации извне. По Г. Хакену [23, 24], систему можно назвать самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру. Под специфическим внешним воздействием понимается такое, которое навязывает системе структуру или функционирование.

В последнее время сущность самоорганизации в открытых системах изучается в новой области естествознания - *синергетике, которая охватывает все проблемы, связанные с образованием упорядоченных структур в сложных системах в результате скоррелированного поведения подсистем*. Ее основные идеи восходят к Э. Шрёдингеру, А.М. Тьюрингу, Л. фон Берталанфи, И. Пригожину, М. Эйгену и Г. Хакену. Считается, что решающее значение для создания синергетики имели разработка и развитие методологии следующих дисциплин: термодинамики необратимых процессов в открытых системах; нелинейной механики, электрофизики и физики лазеров; химической кинетики сильно неравновесных процессов; эволюции популяций в экологии; нелинейной теории регулирования, кибернетики и системного анализа. Приведенный перечень подтверждает междисциплинарный характер синергетики.

Для того чтобы понять сущность самоорганизующихся систем, которые рассматривает синергетика, напомним, что выделяют закрытые системы, которые не обмениваются со средой веществом, энергией и информацией. Поведение закрытых систем рассматривается в рамках классической термодинамики. Центральным понятием термодинамики является

энтропия S — функция состояния термодинамической системы, изменение которой dS в равновесном процессе равно отношению количества теплоты dQ , сообщенного системе или отведенного от нее, к термодинамической температуре T системы: $dS = dQ/T$. Неравновесные процессы в изолированной системе сопровождаются ростом энтропии, приближая систему к состоянию равновесия, в котором энтропия максимальна.

По отношению к закрытым системам были сформулированы два из трех начал термодинамики. *Первое начало* термодинамики по существу является законом сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам: $Q = A + \Delta U$, где Q - количество теплоты, сообщаемое термодинамической системе (например, пару в тепловой машине); A — совершаемая ею работа; ΔU — изменение ее внутренней энергии. Первое начало термодинамики сформулировано в середине XIX в. под влиянием работ Ю.Р. Майера, Дж. Джоуля и Г. Гельмгольца. Согласно первому началу, в закрытой системе энергия сохраняется, хотя и может приобретать различные формы.

Второе начало термодинамики именуется законом возрастания энтропии и гласит, что в замкнутой системе энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (при неравновесных процессах). Другими словами, невозможен переход теплоты от более холодного тела к более нагретому без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде. Следовательно, второе начало термодинамики устанавливает наличие в природе асимметрии (однонаправленность всех самопроизвольных процессов).

На основании второго начала термодинамики была сформулирована модель «тепловой смерти» Вселенной, согласно которой все виды энергии во Вселенной постепенно переходят в тепловую энергию, а Вселенная неизбежно приближается к тепловой смерти. Ход событий во Вселенной невозможно повернуть вспять, и энтропия не может уменьшаться. Способность Вселенной поддерживать организованные структуры со временем ослабевает, и такие структуры распадаются на менее организованные. По мере уменьшения запаса энергии и возрастания энтропии в системе снижаются различия между ее частями. Это значит, что Вселенную ждет однородное будущее.

Использование второго начала имеет глубокий естественнонаучный смысл. С его помощью описывается достаточно широкий класс явлений. Приведем несколько примеров: 1) если холодное тело вступило в контакт с нагретым, обмен теплотой происходит так, что в конце концов температуры обоих тел выравниваются; система становится совершенно однородной, а процесс идет лишь в одном направлении; 2) если из сосуда, часть которого заполнена газом, убрать перегородку, газ заполнит все пространство. Противоположный процесс не происходит: газ сам по себе не сконцентрируется в половине объема сосуда; 3) след, который самолет оставляет за собой в небе, постепенно размывается и исчезает. Во всех этих случаях системы эволюционируют к единственному конечному состоянию - состоянию теплового равновесия. Первоначальные структуры исчезают, заменяясь однородными системами. При анализе этих явлений на микроскопическом уровне, т.е. при рассмотрении движения атомов или молекул, обнаруживается, что беспорядок увеличивается. Именно такие явления описываются классической термодинамикой.

Однако по мере развития естествознания были выявлены противоречия между результатами некоторых природных явлений и выводами, сделанными в рамках классической (равновесной) термодинамики. Последняя не могла объяснить возникновение таких сложных систем, как галактики, Солнечная система и, наконец, растительный и животный мир Земли. Особенно много вопросов возникло после установления факта нестационарности характера Вселенной. Накопившиеся данные позволили в рамках неравновесной термодинамики и синергетики сформулировать следующие постулаты: 1) процессы разрушения систем и их самоорганизации во Вселенной равноправны; 2) процессы нарастания сложности и упорядоченности имеют в основном единый алгоритм, который не зависит от природы систем, т.е. существует

достаточно универсальный механизм самоорганизации в живой и неживой природе.

Примеры процессов, происходящих в открытых системах

Рассмотрим несколько простых примеров упорядочения (самоорганизации) в открытых системах [24].

Пример 1. Упорядочение водяного пара при его охлаждении извне. При высоких температурах молекулы пара движутся свободно, без взаимной корреляции. При понижении температуры образуется капля жидкости, в которой расстояние между молекулами в среднем сохраняется, т.е. их движение сильно скоррелировано. Наконец, при еще более низких температурах, в точке замерзания, вода превращается в кристаллы льда - молекулы расположены в определенном порядке. Такие переходы между различными агрегатными состояниями (фазами) происходят весьма резко. Хотя молекулы каждый раз одни и те же, макроскопические свойства трех фаз существенно различны. И совершенно очевидно, что различаются их механические, оптические, электрические и тепловые свойства.

Пример 2. Упорядочение в ферромагнетиках (например, в магнитной стрелке компаса). При нагревании у ферромагнетика внезапно исчезает намагниченность, а при понижении температуры намагниченность внезапно появляется снова. На микроскопическом, атомном уровне это можно представить так: магнит состоит из большого количества элементарных (атомных) магнитов (называемых спинами). При высоких температурах «магнетики» распределены по направлениям хаотически.



Рис. 11.1. Схема лазера [24]

Их магнитные моменты, складываясь, взаимно уничтожаются, и в результате макроскопическая намагниченность оказывается равной нулю. При температурах ниже критической элементарные магниты выстраиваются в определенном порядке, что приводит к появлению макроскопической намагниченности. Таким образом, упорядочение на микроскопическом уровне служит причиной появления на макроскопическом уровне нового свойства материала. (Переход из одной фазы в другую называется фазовым.) Столь же резкий переход

наблюдается в сверхпроводниках: в некоторых металлах и сплавах ниже определенной температуры электрическое сопротивление внезапно и полностью исчезает вследствие упорядочения электронов в металле.

Пример 3. Процессы, происходящие в твердотельном лазере - оптическом лазерном генераторе (хотя лазерная генерация обнаружена и в межзвездном пространстве). Он представляет собой твердый стержень, в который внедрены атомы определенного типа - активная среда (рис. 11.1); на торцах стержня установлены зеркала. Каждый атом может возбуждаться действием извне, например с помощью света. После этого атом действует как микроскопическая антенна, испуская цуг световых волн длиной около 3 м. Процесс излучения длится обычно 10^{-8} с. Зеркала служат для селекции таких цугов: бегущие в аксиальном направлении цуги отражаются несколько раз от зеркал и остаются в лазере более продолжительное время, остальные быстро покидают объем. С увеличением входной мощности (накачка лазера) происходит следующее. При малых мощностях накачки лазер работает как лампа: атомные антенны излучают световые цуги независимо друг от друга (хаотично). При мощности накачки, равной пороговой мощности лазерной генерации, имеет место совершенно иное явление. Атомные антенны осциллируют в фазе, испуская один гигантский цуг (рис. 11.2).

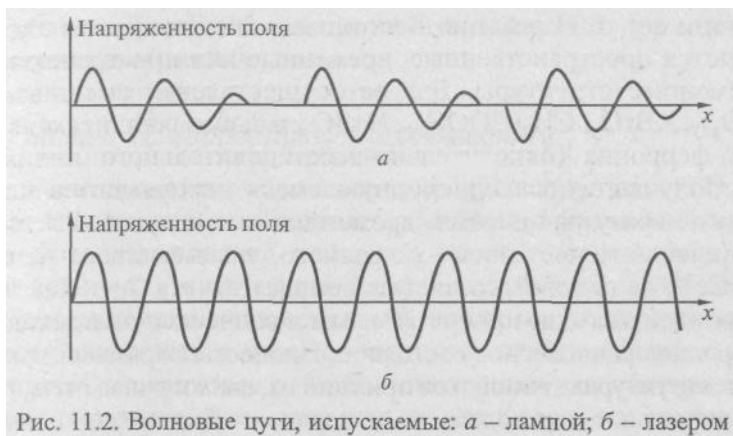


Рис. 11.2. Волновые пути, испускаемые: *a* – лампой; *б* – лазером

При дальнейшем увеличении накачки интенсивность излученного света (т.е. выходная мощность) резко возрастает. Очевидно, что при этом макроскопические свойства лазера коренным образом изменились, причем изменение напоминает фазовый переход в ферромагнетике.

Пример 4. Конвективная неустойчивость, или неустойчивость Бенара. Пусть слой жидкости подогревается снизу, а сверху температура поддерживается постоянной. При малой разности температур теплота переносится благодаря теплопроводности и жидкость остается в покое. Когда температурный градиент достигает некоторого критического значения, в жидкости начинается макроскопическое движение. Так как нагретые области жидкости расширяются, они имеют более низкую плотность и всплывают наверх, охлаждаются и опускаются снова на дно. Это движение происходит упорядоченно. При этом формируются либо цилиндрические, либо гексагональные ячейки. Таким образом, из однородного состояния возникает упорядоченная пространственная структура. Более того, при еще большем увеличении температурного градиента возникает новое явление — в цилиндрах начинается волновое движение вдоль их осей. С помощью этих и аналогичных явлений предпринимаются попытки описывать процессы движения воздуха и образования облаков, перемещения литосферных плит и т.д.

Пример 5. В реакции Белоусова — Жаботинского также образуются пространственные, временные или пространственно-временные структуры. Для ее осуществления смешивают $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$, KBrO_3 , $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$, H_2SO_4 и добавляют несколько капель ферроина (окислительно-восстановительного индикатора). Получающуюся однородную смесь переливают в пробирку, где сразу начинаются временные осцилляции. Раствор периодически меняет цвет - с красного, указывающего на избыток Ce^{3+} , на голубой, соответствующий избытку Ce^{4+} . Так как реакция идет в замкнутой системе, она в конце концов приходит в однородное равновесное состояние. Процессы образования подобных структур подчиняются принципам, аналогичным тем, которые управляют переходами типа порядок - беспорядок в лазерах, а также в гидродинамических и других системах.

Пример 6. Моделью клеточного взаимодействия может служить агрегация слизевика (многоклеточного организма, образованного путем соединения отдельных клеток). В фазе роста организм существует в виде отдельных амебовидных клеток. Через несколько часов после прекращения роста эти клетки собираются и образуют полярное тело, вдоль которого они разделяются на споровые и стебельковые клетки, составляющие плодовое тело слизевика. Отдельные клетки способны время от времени спонтанно испускать в окружающее пространство порции молекул определенного типа, называемые цАМФ, и, более того, усиливать импульсы цАМФ. Таким образом, они спонтанно выделяют химические вещества. Происходит коллективное испускание химических импульсов, которые мигрируют в виде волн концентрации из центра, вследствие чего возникает градиента концентрации цАМФ. Отдельные клетки «чувствуют» направление градиента и мигрируют к центру с помощью псевдоподий (ложноножки). В результате получают макроскопические волновые структуры (спиральные или концентрические круги).

Таким образом, во многих системах различного характера (физических, химических,

геологических, биологических, географических и т.д.) активно происходят процессы самоорганизации и возникновения более сложных структур. При этом такие системы должны быть открытыми (обмениваться веществом и энергией с окружающей средой) и существенно неравновесными (находиться в состоянии, далеком от термодинамического равновесия).

Свойства самоорганизующихся систем

Поведение систем, рассматриваемых синергетикой, описывается с помощью нелинейных уравнений - уравнений второго или большего порядка, поскольку самоорганизующиеся системы крайне сложны (нелинейны). Следовательно, эти системы можно характеризовать как неустойчивые и неравновесные. Неравновесность в свою очередь порождает избирательность системы, ее сложные реакции на внешние воздействия среды. При этом некоторые более слабые внешние воздействия могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем воздействия хотя и более сильные, но не адекватные собственным тенденциям системы. Иначе говоря, в нелинейных системах возможны ситуации, когда совместные действия двух причин вызывают эффекты, которые не имеют ничего общего с результатами воздействия этих причин по отдельности.

Важным следствием нелинейности поведения самоорганизующихся систем является пороговый характер многих процессов в таких системах, т.е. при плавном изменении внешних условий поведение системы изменяется скачком. Другими словами, в состояниях, далеких от равновесия, слабые возмущения (флуктуации) оказывают сильное воздействие на систему, разрушая сложившуюся структуру и способствуя ее радикальному качественному изменению. Поэтому нелинейные системы, являясь неравновесными и открытыми, создают и поддерживают неоднородности в среде. В таких условиях между системой и средой иногда создаются отношения обратной положительной связи, а именно: система влияет на среду таким образом, что в последней вырабатываются определенные условия, которые в свою очередь обуславливают изменения в самой этой системе. Примером может служить ситуация, когда в ходе химической реакции или какого-то другого процесса вырабатывается фермент, наличие которого стимулирует производство самого этого фермента.

При взаимодействии открытых системы с внешней средой происходит диссипация энергии - переход энергии упорядоченного процесса в энергию неупорядоченного процесса, в конечном счете в тепловую энергию. В общем случае *диссипативными* именуют такие системы, в которых энергия упорядоченного процесса переходит в энергию неупорядоченного, в конечном счете теплового (хаотического) движения. В открытых системах с нелинейным протеканием процессов возможны термодинамически устойчивые неравновесные состояния, далекие от состояния термодинамического равновесия и характеризующиеся определенной пространственной и временной упорядоченностью (структурой), которую называют диссипативной, так как ее существование требует непрерывного обмена веществом и энергией с окружающей средой. При этом огромное количество микропроцессов приобретает интегративную результирующую на макроуровне, которая качественно отличается от того, что происходит с каждым отдельным ее микроэлементом. Благодаря этому могут спонтанно возникать новые типы структур, характеризующиеся переходом от хаоса и беспорядка к порядку и организации.

Понятие диссипативности непосредственно связано с понятием параметров порядка. Самоорганизующиеся системы характеризуются множеством параметров, причем эти параметры улавливают воздействие окружающей среды неодинаково. С течением времени в системе выделяется несколько ведущих, определяющих параметров, к которым «подстраиваются» остальные. Такие параметры системы именуются параметрами порядка. Соотношения, связывающие параметры порядка, обычно намного проще, чем

математические модели, детально описывающие систему в целом, поскольку параметры порядка отражают содержание оснований неравновесной системы. Поэтому выявление параметров порядка - одна из важнейших задач, решаемых при изучении самоорганизующихся систем.

§ 11.3. Закономерности самоорганизации и эволюционного процесса

Закономерности и факторы эволюции

Одной из центральных в синергетике является идея о принципиальной возможности спонтанного возникновения порядка и организации из беспорядка и хаоса в результате процесса самоорганизации. Решающим фактором самоорганизации выступает положительная обратная связь системы и среды. При этом система начинает самоорганизовываться и противостоит тенденции ее разрушения средой (в химии такое явление называется автокатализом).

Способность систем к самоорганизации во многом определяется характером взаимодействия случайных и необходимых факторов системы и ее среды. Обычно самоорганизация переживает переломные моменты - точки бифуркации. При этом под *бифуркацией* обычно понимают приобретение нового качества в движениях динамической системы при малом изменении ее параметров. Основы теории бифуркации заложены А. Пуанкаре и А.М. Ляпуновым в начале XX в., затем эта теория была развита А.А. Андроновым и его учениками.

Вблизи точек бифуркации в системах наблюдаются существенные случайные отклонения физических величин от их средних значений (флуктуации), поэтому роль случайных факторов резко возрастает. В переломный момент самоорганизации принципиально неизвестно, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности и организации (фазовые переходы и диссипативные структуры - лазерные пучки, неустойчивости плазмы, химические волны Белоусова - Жаботинского, структуры Рэлея и др.). В точке бифуркации система как бы стоит перед выбором пути дальнейшего развития. В таком состоянии небольшая флуктуация может послужить толчком к началу эволюции (организации) системы в некотором определенном (часто неожиданном или даже маловероятном) направлении, одновременно исключая возможности развития в других направлениях. Оказалось, что переход от хаоса к порядку поддается математическому моделированию и существует не так уж много общих моделей такого перехода. При этом существенно, что качественные переходы в самых разных сферах действительности (в природе и обществе) могут происходить по одному и тому же сценарию. Знание основных бифуркаций позволяет существенно облегчить исследование реальных систем (физических, химических, биологических и др.), в частности предсказать характер новых движений, возникающих в момент перехода системы в качественно другое состояние, оценить их устойчивость и область существования.

Итак, основными условиями формирования новых структур являются открытость системы, нахождение ее вдали от точки равновесия и наличие флуктуации. Неустойчивость и неравновесность определяют развитие систем. В особой точке бифуркации (критическое состояние) флуктуации достигают такой силы, что организация системы может разрушиться. Разрешение кризисной ситуации достигается быстрым переходом диссипативной системы на новый, более высокий уровень упорядоченности, который получил название диссипативной структуры. Это и есть акт самоорганизации системы. Поскольку флуктуации случайны, то и выбор конечного состояния системы является случайным, неоднозначным, причем процесс перехода одноразовый и необратимый. В процессе перехода все элементы системы ведут себя коррелированно (согласованно), хотя до этого они находились в состоянии хаоса.

Общая схема эволюционного процесса как последовательности процессов

самоорганизации сводится к следующему [29]:

◇ относительно стабильное n -е состояние системы утрачивает устойчивость. В качестве причин, вызывающих потерю устойчивости, выступают временные изменения внутреннего состояния или наложенных краевых условий. Наиболее характерной причиной эволюционной неустойчивости является внезапное появление новой моды в движении, новой разновидности молекул в химии, нового вида в биологии. Этот новый элемент в рассматриваемой динамической системе приводит к потере устойчивости состояния системы, которое до появления нового элемента было устойчивым;

◇ неустойчивость, обусловленная новым элементом в системе, запускает динамический процесс, который приводит к дальнейшей самоорганизации системы, и система порождает новые упорядоченные структуры;

◇ по завершении процесса самоорганизации система переходит в эволюционное состояние ($n + 1$). После n -го эволюционного цикла начинается новый ($n + 1$)-й эволюционный цикл.

Характерно, что реальная эволюция никогда не заканчивается, она каким-то образом находит выход из любого тупика, и этим выходом является новый цикл самоорганизации.

Каждый парциальный (частный) эволюционный процесс переводит систему в новую, в определенном смысле более высокую эволюционную плоскость, а процесс в целом обладает спиральной структурой (рис. 11.3). Анализ действующих и определяющих последовательность состояний системы условий, сил и механизмов необходим для разработки теории эволюции. Окончательные ответы пока получить не удастся.

Особое значение придается следующим факторам [29]:

◇ способности к уменьшению энтропии путем обмена энергией и веществом с окружающей средой;

◇ неравновесному характеру системы, находящемуся на закритическом расстоянии от термодинамического равновесия;

◇ нелинейности (динамика системы существенно определяется эффектами, которые описываются уравнениями второго и более высокого порядка);

◇ способности к самовоспроизведению, т.е. к образованию относительно точных копий исходной системы или подсистем;

◇ конечности времени жизни системы, связанной с ней непрерывной смене поколений и процессу обновления;

◇ существованию нескольких устойчивых состояний системы, зависимости текущего состояния от предыстории, потенциальной способности к хранению информации;

◇ отбору систем и механизмов с благоприятными свойствами из большого числа возможных конкурентных процессов;

◇ стабильности системы при случайной ошибке в процессе репродукции как источнику новых структур, механизмов и информации;

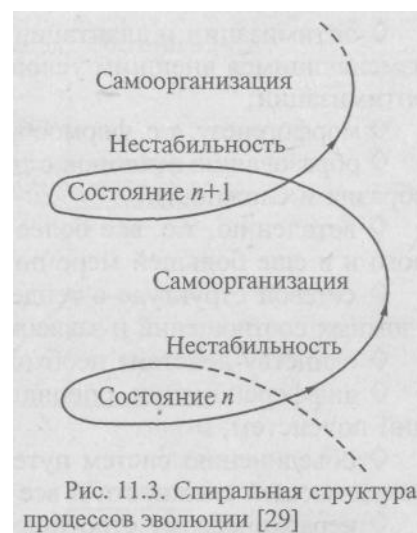
◇ обработке информации, т.е. способности к ее созданию, хранению, воспроизведению и использованию;

◇ оптимизации и адаптации, способности подстраиваться к изменяющимся внешним условиям, существованию критериев оптимизации;

◇ морфогенезу, т.е. формообразованию системы и ее органов;

◇ образованию эталонов с тенденцией к увеличению многообразия и сложности;

◇ ветвлению, т.е. все более сильному расщеплению реального и в еще большей мере потенциального пути эволюции;



- ◇ сетевой структуре с тенденцией к образованию все более сложных соотношений и зависимостей между подсистемами;
 - ◇ единству действия необходимых и случайных факторов;
 - ◇ дифференциации, специализации и распределению функций подсистем;
 - ◇ объединению систем путем соединения в целое все более возрастающей сложности и все большей потенции к действию;
 - ◇ иерархическому строению систем, элементы которых вложены один в другой (существование параметров порядка);
 - ◇ ускорению эволюции, т.е. постоянному нарастанию средней скорости эволюционного процесса вследствие механизмов обратной связи.
- Этот перечень можно легко продолжить.

Особенности эволюционного процесса

Одна из существенных черт глобальной эволюции - подобие явлений в системах, на первый взгляд совершенно различных. Например, обнаружена аналогия качественных переходов при эволюционных процессах с фазовыми переходами в термодинамике. Проиллюстрировать это положение можно на примерах из физики и экологии (рис. 11.4 и 11.5). Пусть биологические виды занимают на определенной территории одну экологическую нишу. При появлении нового вида, который существенно лучше использует ту же нишу, наступает фаза перехода от сосуществования к полному вытеснению исходных видов (рис. 11.4, *а, б*). Отметим общие свойства такого рода процессов: состояния 1 и 2 разделены переходной областью конечной величины; в переходной области состояния (виды) отличимы друг от друга; симметрия относительно использования видами экологической ниши не должна нарушаться; скачкообразный переход может быть обойден, например, с помощью медленного улучшения селекционной ценности таксона 1 до ценности таксона 2. Аналогичными свойствами характеризуется и такой, например, термодинамический фазовый переход, как переход вода - пар. На рис. 11.4, *в* для сравнения представлен график изменения термодинамического потенциала $-\Omega = pV$ функции объема.

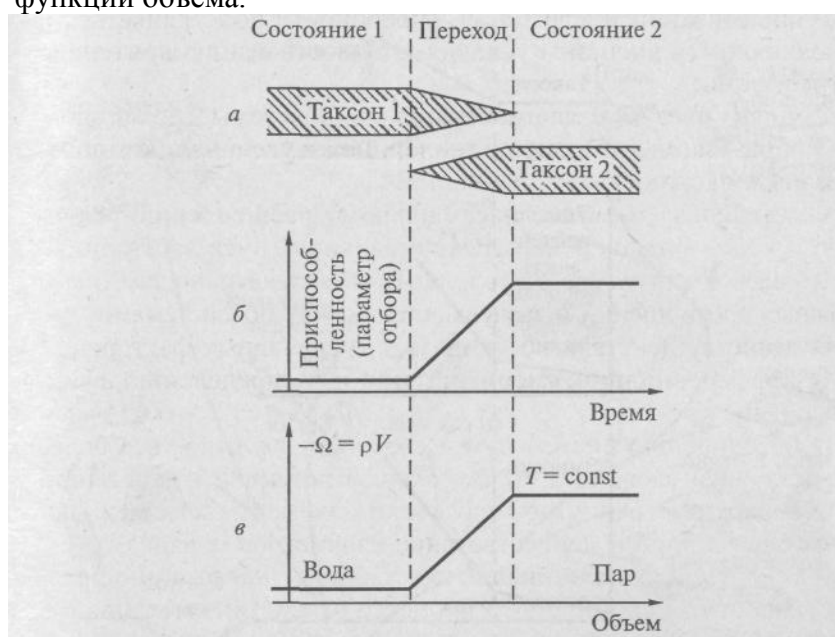
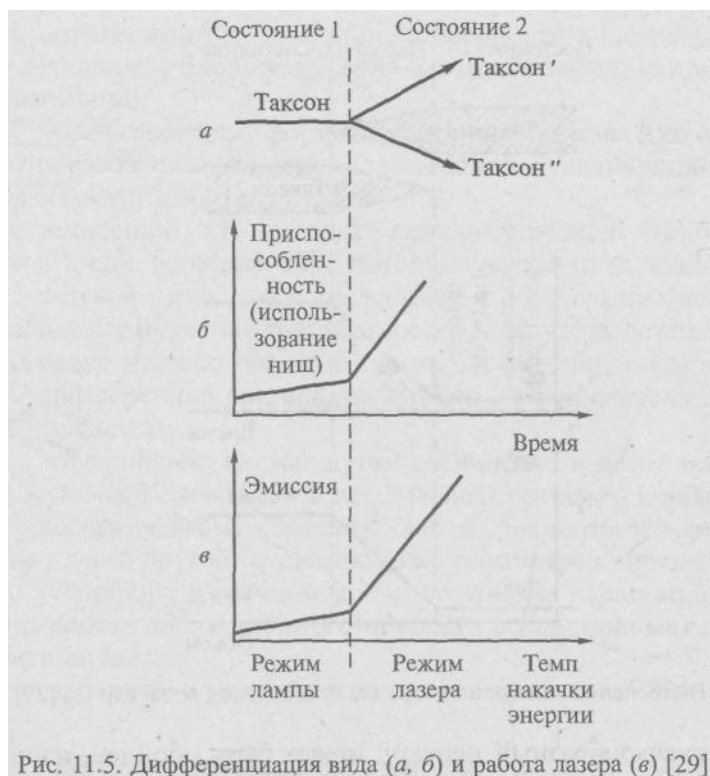


Рис. 11.4. Вытеснение вида при отборе (*а, б*) и переход вода-пар (*в*) [29]

Другой существенный для эволюции процесс - специализация, дифференциация или распределение функций (рис. 11.5, *а*). Например, такой процесс реализуется, когда один вид использует две экологические ниши, но в ходе эволюции одна часть вида специализируется по отношению к одной нише, Другая часть - к другой, пока не образуются два различных вида. Поскольку при этом ресурсы обеих ниш используются с

разделением функций, становится возможным быстрое улучшение приспособленности (рис. 11.5, б). В подобных случаях удается установить следующие свойства: переход происходит в определенной точке, отмечаемой прекращением образования смешанного потомства; с наступлением перехода нарушается симметрия использования ниш подвидами; в точке перехода оба состояния совпадают. Такой переход аналогичен кинетическому переходу, например, как в лазере (рис. 11.5, в).



Обратимся к рис. 11.6. На нем отмечена еще одна существенная особенность процессов эволюции - ветвление. Наглядное описание этого свойства дает теория графов. Например, если вершинам графа поставить в соответствие виды некоего рода или класса, возникавшие в ходе эволюции жизни на Земле, и соединить ребрами (стрелками) виды, произошедшие друг от друга, то результатом будет особого вида ориентированный граф - древо эволюции. Оно обладает рядом специфических свойств: у такого древа всегда одно начало и в большинстве случаев несколько концов, соответствующих вымершим или ныне живущим видам; циклические последовательности предок — потомок наблюдаются лишь в исключительных случаях (например, у вирусов гриппа); у такого графа не существует сходящихся подграфов, поскольку по определению исключается перенос генетической информации между различными видами одного поколения, а происхождение одного вида от другого означает восприятие генетической информации.

Картина изменяется при переходе от видов к расам или подвидам. Если информационный обмен возможен, то возникают сходящиеся ветви, т.е. достигается существенный прогресс в эволюции. Разумеется, не случайно, что при этом возникают речевые структуры. Передача информации с помощью языка -существенный фактор высших ступеней эволюции. Возникновение и распространение естественных языков также может служить примером процесса эволюции. На древе эволюции естественных языков отмечено сильное ветвление.

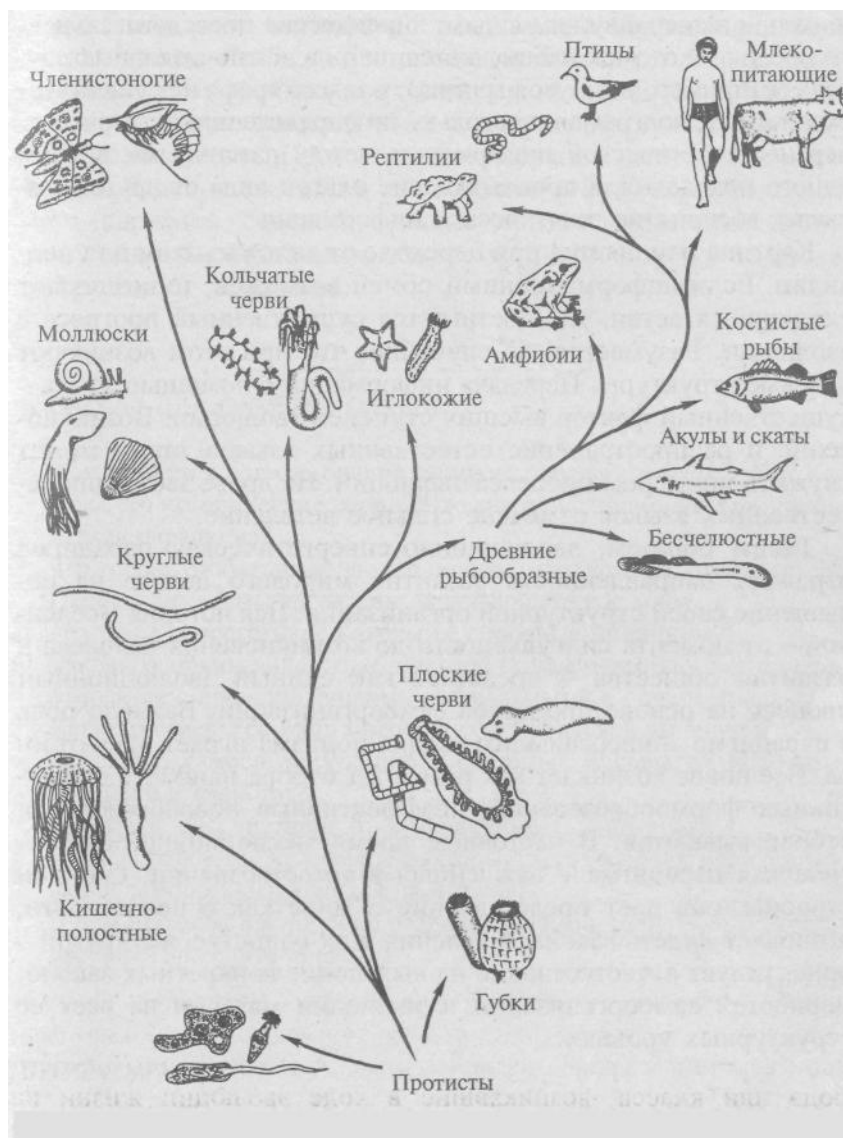


Рис. 11.6. Филогенетическое древо животного мира (по П. Кемпу, К. Армсу, 1988)

Таким образом, эволюционно-синергетическая парадигма отражает направленность развития мирового целого на повышение своей структурной организации. Вся история Вселенной - от момента сингулярности до возникновения человека и развития общества — предстает как единый эволюционный процесс на основе процессов самоорганизации. Важную роль в парадигме универсального эволюционизма играет идея отбора. Все новое возникает как результат отбора наиболее эффективных формообразований, неэффективные новообразования отбраковываются. В настоящее время эволюционно-синергетическая парадигма - важнейшая в естествознании. С одной стороны, она дает представление о мире как о целостности, позволяет видеть законы и явления в их единстве, а с другой - ориентирует естествознание на выявление конкретных закономерностей самоорганизации и эволюции материи на всех ее структурных уровнях.

В заключение заметим, что в мир далеко еще не познан. Многие явления природы не получили научного объяснения и потому носят загадочный, таинственный характер. Так, не исследованы в достаточной мере явления в различных оболочках Земли (литосфере, атмосфере и т.д.), законы макроэволюции и многое другое. Но было бы наивно полагать, что естествознание может сразу решить все проблемы познания. Естествознание — не законченное здание, а целенаправленная деятельность человечества. Поэтому можно полагать, что непознанное сегодня будет исследовано и объяснено в будущем, когда для этого сложатся соответствующие предпосылки. Однако на смену одним непознанным

вопросам придут другие, не менее интересные и загадочные.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какое место в естествознании занимает эволюционное учение? Каковы его исторические корни? Что такое эволюционно-синергетическая парадигма?

2. Что такое глобальный эволюционизм и в чем он проявляется? Перечислите фазы эволюции окружающего нас мира.

3. Что такое синергетика? Каковы ее основные принципы?

4. Каковы основные идеи классической термодинамики? Как они соотносятся с представлениями, развиваемыми в синергетике?

5. Какие примеры самоорганизующихся процессов вы знаете?

6. Что такое самоорганизующиеся системы? Каковы их основные признаки и свойства?

7. Что такое диссипативность и нелинейность системы?

8. Каковы основные условия и факторы возникновения и существования самоорганизующихся процессов?

9. В чем проявляется подобие различных самоорганизующихся процессов? Приведите примеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балбоаянц А.* Молекулы, динамика, жизнь. Введение в самоорганизацию материи. М., 1990.

2. *Винер Н.* Кибернетика и общество. М., 1958.

3. *Волькенштейн М.В.* Энтропия и информация. М., 1980.

4. *Грядовой Д.И.* Концепции современного естествознания. Структурный курс.

5. Жизнь Земли. Синергетика. Экология. Геодинамика. Музееведение: Сб. науч. тр. М., 2001.

6. *Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.* Синергетика и прогнозы будущего. М., 1998.

7. *Климентович Н.Ю.* Без формул о синергетике. Минск, 1986.

8. *Князева Е.Н.* Одиссея научного разума. М., 1995.

9. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М., 1994.

10. Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. М., 1994.

11. *Курдюмов С.П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М., 1990.

12. *Лопушанская А.И.* Термодинамика необратимых процессов. М., 1987.

13. *Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С.* Введение в синергетику. М., 1990.

14. *Мелик-Гайказян И.В.* Информация и самоорганизация (методологический анализ). Томск, 1995.

15. *Николис Г., Пригожий И.* Познание сложного. М., 1990.

16. *Осипов А.И.* Самоорганизация и хаос: Очерк неравновесной термодинамики. М., 1986.

17. *Пригожин И.* От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках. М., 1985.

18. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. М., 1986.

19. *Степин В.С.* Философская антропология и философия науки. М., 1992.

20. *Степин В.С.* Теоретическое знание. М., 2000.

21. *Ферстер Г. фон, Зонф Г.В.* Принципы самоорганизации. М., 1964.

22. *Хаазе Р.* Термодинамика необратимых процессов. М., 1967.

23. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М., 1991.

24. *Хакен Г.* Синергетика. М., 1985.

25. *Чернавский Д.С.* Синергетика и информация. М., 2001.

26. Шеннон К., Бандвагон Е. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.
27. Щербаков А. С. Самоорганизация материи в неживой природе. М., 1990.
28. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979.
29. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. М., 2001.
30. Эгейн М. Самоорганизация материи и биологических макромолекул. М., 1973.
31. Эгейн М., Винклер Р. Игра жизни. М., 1979.
32. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. М., 1987.