

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию**

**Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»**

О. А. Саблина

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

***Утверждено редакционно-издательским советом ОГТИ
в качестве учебного пособия***



Орск 2008

УДК 50
ББК 20
С12

Научный редактор

Вельц Н. Ю., кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии, безопасности жизнедеятельности, теории и методики обучения биологии ОГТИ

Рецензенты:

Русанов А. М., доктор биологических наук, профессор, декан химико-биологического факультета ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»;

Басков С. Н., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ПИ и УСА Новотроицкого филиала «Государственного технологического университета «Московского института стали и сплавов»

С12 Саблина, О. А. Концепции современного естествознания : учебное пособие / О. А. Саблина. – Орск : Издательство ОГТИ, 2008. – 151 с. – ISBN 978-5-8424-0383-7.

Учебное пособие предназначено студентам естественнонаучного факультета.

ISBN 978-5-8424-0383-7

© Саблина О. А., 2008
© Издательство ОГТИ, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЕ ПОЗНАНИЕ	6
1.1. Наука и ее характерные черты.....	6
1.2. Естествознание и его отличие от гуманитарных наук	11
1.3. Структура естественнонаучного познания	13
1.4. Методы естественнонаучного познания.....	15
1.5. Научные революции как трансформация оснований науки.....	18
1.6. Модели развития науки	20
Вопросы для самоконтроля.....	24
ГЛАВА 2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА	25
2.1. Развитие взглядов на пространство и время в истории науки	25
2.2. Специальная теория относительности.....	30
2.3. Общая теория относительности	34
2.4. Симметрия и законы сохранения	37
Вопросы для самоконтроля.....	41
ГЛАВА 3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ МИКРОМИРА.....	42
3.1. Структурные уровни организации материи.....	42
3.2. Квантово-механические представления. Корпускулярно-волновой дуализм.....	43
3.3 Особенности изучения микромира. Динамические и статистические закономерности	45
3.4. Релятивистская квантовая механика.....	48
3.5. Классификация элементарных частиц	50
3.6. Основные физические взаимодействия	52
3.7. Эволюция представлений о строении атомов.....	55
Вопросы для самоконтроля.....	58
ГЛАВА 4. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ МЕГАМИРА.....	59
4.1. Происхождение и эволюция Вселенной.....	59
4.2. Эволюция галактик и звезд.....	61
4.3. Происхождение Солнечной системы.....	65
4.4. Антропный принцип.....	67
Вопросы для самоконтроля.....	69
ГЛАВА 5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОСИСТЕМ	69
5.1. Основные положения равновесной термодинамики	69
5.2. Основные положения неравновесной термодинамики. Синергетика – теория самоорганизации	72

Вопросы для самоконтроля.....	77
ГЛАВА 6. ОСНОВЫ ХИМИИ.....	77
6.1. Основные химические понятия и закономерности	77
6.2. Химические реакции и особенности их протекания.....	79
6.3. Типы химической связи	81
6.4. Основные понятия органической химии.....	83
Вопросы для самоконтроля.....	85
ГЛАВА 7. КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОСФЕРНЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ.	86
7.1. Географическая оболочка и ее особенности	86
7.2 Атмосфера: строение, происхождение, экологические функции	87
7.3. Гидросфера: строение, происхождение, экологические функции.....	90
7.4. Внутреннее строение Земли. Литосфера и ее экологические функции....	92
Вопросы для самоконтроля.....	96
ГЛАВА 8. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ.....	97
8.1. Критерии и уровни организации живого	97
8.2. Клетка – структурно-функциональная единица живого.....	98
8.3. Механизм хранения и реализации наследственной информации.....	104
Вопросы для самоконтроля.....	108
ГЛАВА 9. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА	109
9.1. Концепции происхождения жизни на Земле.....	109
9.2. Основные этапы эволюции органического мира.....	113
9.3. Основные закономерности микроэволюции	117
9.4. Видообразование и основные закономерности макроэволюции	122
Вопросы для самоконтроля.....	125
ГЛАВА 10. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ	126
10.1 Основные понятия и закономерности экологии.....	126
10.2. Учение В. И. Вернадского о биосфере	132
10.3. Глобальные экологические проблемы.....	133
Вопросы для самоконтроля.....	139
ГЛАВА 11. ЧЕЛОВЕК И ЕГО МЕСТО В БИОСФЕРЕ.....	140
11.1. Положение человека в системе животного мира	140
11.2. Происхождение и эволюция человека.....	142
11.3. Учение В. И. Вернадского о ноосфере	147
Вопросы для самоконтроля.....	149
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	150

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость привлечения в систему образования курса «Концепции современного естествознания» связана с проблемами, которые возникли перед людьми к началу третьего тысячелетия. На многие конкретные вопросы той или иной профессии дают ответ специальные науки, но часто они не отвечают на более глобальные вопросы: как устроен окружающий нас мир в целом, каким фундаментальным законам подчиняется природа, что представляют собой жизнь, разум, человек и его место во Вселенной.

Во многом это определяется формированием такого типа мышления и методов познания, которые позволяют выявить фундаментальные закономерности и универсальные принципы, управляющие процессами в окружающем мире. Им соответствуют достижения естественных наук. Однако сейчас становится все более очевидной необходимость целостного восприятия и объяснения мира на основе не только естественнонаучного метода познания, но и гуманитарного подхода.

Таким образом, изучение дисциплины «Концепции современного естествознания» преследует цель ознакомления студентов, обучающихся по гуманитарным направлениям и специальностям, с неотъемлемым компонентом единой культуры – естествознанием и формированием целостного взгляда на окружающий мир. Это тем более необходимо, что сейчас рациональный естественнонаучный метод проникает и в гуманитарную сферу, участвуя в формировании сознания общества, и вместе с тем приобретает все более универсальный язык, адекватный философии, психологии, социальным наукам и даже искусству. Возникающая сегодня тенденция к гармоничному синтезу двух традиционно противостоящих компонентов культуры созвучна потребности общества в целостном мировидении и подчеркивает актуальность предлагаемой дисциплины.

Идея курса состоит в передаче гуманитариям элементов естественнонаучной грамотности, представлений об основополагающих концепциях различных естественных наук, складывающихся в единую картину мира. Несмотря на необходимое присутствие элементов истории и философии науки, основное содержание дисциплины составляет целостное описание природы и человека (как части природы) на основе научных достижений, смены методологий, концепций и парадигм, в общекультурном, историческом контексте.

ГЛАВА 1. ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЕ ПОЗНАНИЕ

1.1. Наука и ее характерные черты

Наука – сфера человеческой деятельности, целью которой является изучение предметов и процессов природы, общества и мышления, их свойств, отношений и закономерностей.

Наука – одна из форм общественного сознания. За две с половиной тысячи лет своего существования наука превратилась в сложное, системно организованное образование с четко просматриваемой структурой. Основными *элементами научного знания* являются:

- 1) твердо установленные факты;
- 2) закономерности, обобщающие группы фактов;
- 3) теории, как правило представляющие собой системы закономерностей, в совокупности описывающих некий фрагмент реальности;
- 4) методы как специфические приемы и способы исследования реальности, исходящие из особенностей и закономерностей изучаемых объектов;
- 5) научные картины мира, рисующие обобщенные образы всей реальности, в которых сведены в некое системное единство все теории, допускающие взаимное согласование.

Выделяют следующие *функции современной науки*:

- 1) описательная – выявление существенных свойств и отношений действительности;
- 2) систематизирующая – встраивание объективных знаний в систему;
- 3) объяснительная – объяснение сущности изучаемого явления, причин его возникновения и развития;
- 4) производственно-практическая – возможность применения полученных знаний на практике;
- 5) прогностическая – возможность научного предвидения явлений в будущем;
- б) мировоззренческая – внесение полученных знаний в существующую картину мира.

Соотношение науки и вненаучного знания. Общее доверие к науке настолько велико, что мы порой просто отождествляем понятия «знание» и «научное знание», считая их почти синонимами. Но существует немало видов знания, источником которых является не наука, а житейский опыт, эстетические впечатления, религиозное откровение и т. д. Выделяют следующие формы вненаучного знания:

1) *ненаучное*, понимаемое как разрозненное несистематическое знание, которое не формализуется и не описывается законами, находится в противоречии с существующей научной картиной мира;

2) *донаучное*, выступающее прототипом, предпосылочной базой научного;

3) *паранаучное*, несовместимое с имеющимся гносеологическим стандартом; оно включает в себя учения или размышления о феноменах, объяснение которых не является убедительным с точки зрения критериев научности;

4) *лженаучное*, сознательно эксплуатирующее домыслы и предрассудки. Считается, что лженаучное обнаруживает себя и развивается через квазинаучное;

5) *квазинаучное* знание ищет себе сторонников и приверженцев, опираясь на методы насилия и принуждения (лысенковщина, шельмование генетики, кибернетики и т. п.);

6) *антинаучное*, утопичное и сознательно искажающее представление о действительности;

7) *псевдонаучное* знание представляет собой интеллектуальную активность, спекулирующую на совокупности популярных теорий, например, истории о древних астронавтах, о снежном человеке, о чудовище из озера Лох-Несс;

8) *обыденно-практическое* знание – элементарные сведения о природе и окружающей действительности. Его основой является опыт повседневной жизни, имеющий, однако, разрозненный, несистематический характер, представляющий собой простой набор сведений. Обыденное знание, хотя и фиксирует истину, но делает это несистематично и бездоказательно. Его первой особенностью является то, что оно используется человеком практически неосознанно и в своем применении не требует каких бы то ни было предварительных систем доказательств. Другая его особенность – принципиально бесписьменный характер. Те пословицы и поговорки, которыми располагает фольклор каждой этнической общности, лишь фиксируют его факт, но никак не прописывают теорию обыденного знания;

9) *игровое познание*, которое строится на основе условно принимаемых правил и целей. Оно носит обучающе-развивающий характер, выявляет качества и возможности человека, позволяет раздвинуть психологические границы общения;

10) *личностное знание* ставится в зависимость от способностей того или иного субъекта и от особенностей его интеллектуальной познавательной деятельности;

11) *народная наука*, которая в настоящее время стала делом отдельных групп или отдельных субъектов: знахарей, целителей, экстрасенсов, а ранее являлась привилегией шаманов, жрецов, старейшин рода. Как правило, народная наука существует и транслируется от наставника к ученику в бесписьменной форме. Иногда можно выделить ее конденсат в виде заветов, примет, наставлений, ритуалов и пр.;

12) *вера* – важнейший компонент внутреннего духовного мира человека, психический акт и элемент познавательной деятельности. Она обнаруживает себя в непосредственном, не требующем доказательства принятии тех или иных положений, норм, истин. Вера проявляется в состоянии убежденности и связана с чувством одобрения или неодобрения, требует от человека соблюдения тех принципов и моральных предписаний, в которые он верит.

Научное знание отличается от других форм познания следующими признаками:

1) научное знание характеризуется *систематичностью*, а также логической выводимостью одних знаний из других;

2) объектами научного (теоретического) познания выступают не сами по себе предметы и явления реального мира, а их своеобразные аналоги – *идеализированные объекты* (например, точка, прямая в геометрии, идеальный газ, абсолютно черное тело в физике);

3) важным признаком научного познания является *осознанный контроль* над самой процедурой получения нового знания, фиксация и предъявление строгих требований к *методам* познания;

4) научное описание исследуемых объектов требует *строгости и однозначности языка*, четко фиксирующего смысл и значение понятий;

5) научное знание претендует на *общеобязательность и объективность* открываемых истин, то есть их независимость от познающего субъекта, безусловную воспроизводимость;

6) наука изучает не все явления подряд, а только те, которые повторяются, и поэтому ее главная задача – искать *законы*, по которым эти явления существуют.

В различные периоды истории наблюдалось различное сочетание и соподчинение науки с различными сферами человеческой дея-

тельности. В античный период наука была частью философии и выступала в комплексе со всеми формами общественного сознания. В Средние века наука находилась под властью религии, которая значительно сдерживала ее развитие. В эпоху Возрождения наука начинает бурно развиваться, но сохраняет за философией место ведущего элемента в мировоззрении.

В XIX в. в связи с успехами естествознания наука начала доминировать в культуре и мировоззрении. Тогда же между наукой и философией разгорелся конфликт, который продолжается до настоящего времени. Суть конфликта – борьба за право обладать истиной в последней инстанции. В XIX в. наука, не осознавая своих границ, пыталась дать ответ на все вопросы бытия. Так возникла идеология *сциентизма* – вера в науку как единую непререкаемую истину.

Антисциентисты считают, что наука (научное познание), безусловно, является одной из форм постижения бытия, но она выражает собой лишь ограниченное, по сравнению с философией, знание, так как она не касается бытия в целом. Наука не может претендовать на «чистое» описание мира уже потому, что она, как и любая конструктивная деятельность разума, базируется на определенных ценностях и представляет собой прежде всего особую мировоззренческую ориентацию. В основе этой ориентации лежит предпосылка о полном постижении мира с помощью конкретно-научных методик. Но ни о какой полноте постижения бытия здесь и речи быть не может, так как оно всегда предметно ограничено. Таким образом, согласно *антисциентизму*, наука лишь одно из средств упорядочивания (конструирования, интерпретации) мира.

Классификация наук. К настоящему времени наука превратилась в весьма сложную, многоплановую и многоуровневую систему знаний. Главный способ ее организации – дисциплинарный. Вновь возникающие отрасли научного знания всегда обособлялись по предметному признаку: в соответствии с вовлечением в процесс познания новых фрагментов реальности. Вместе с тем в системе «разделения труда» научных дисциплин есть и небольшой «привилегированный» класс наук, выполняющих *интегрирующие функции* по отношению ко всем прочим разделам научного знания, – математика, логика, философия, кибернетика, синергетика и т. д. Их предметная область предельно широка, как бы «сквозная» для всей системы научного знания, что позволяет им выступать в роли методологической основы научного познания.

По предметному своеобразие все научные дисциплины делятся на три большие группы: естественные, общественные и технические.

Предметная область *естественных наук* (физики, химии, биологии, геологии и др.) охватывает все доступные человеку природные процессы, протекающие независимо от воли и сознания людей.

Общественные науки имеют дело с той частью бытия, которая включает все проявления социальной жизни: деятельность людей, их мысли, чувства, ценности, возникающие социальные организации и институты и т.д. В совокупности общественных наук принято выделять *социально-научные* и *гуманитарные дисциплины*. Разделение это не строгое и не однозначное, но тем не менее имеющее под собой серьезное основание.

Социально-научные системы знания (экономика, социология, политология, демография, этнография, антропология) ориентируются на стандарты естественных наук. Эти науки предпочитают иметь дело с количественными (математически выразимыми) методами исследования. Эмпирической (фактической) базой гуманитарных наук являются, как правило, тексты (в широком смысле этого слова) – исторические, религиозные, философские, юридические, рисованные, пластические и т. д. Поэтому методы гуманитарно-научного знания диалогичны: исследователь текста ведет своеобразный диалог с его автором. Рождающиеся в результате такого диалога интерпретации текстов, то есть устанавливаемые смыслы зафиксированных в них проявлений жизнедеятельности людей, не могут, разумеется, быть строго однозначными.

В дисциплинарной структуре научного знания особое место занимают науки *технические*. К ним относятся электротехника, электроника, радиотехника, энергетика, материаловедение, металлургия, химические технологии и др. Предмет их исследований – техника, технология, материалы, то есть вещная и процессуальная стороны человеческой деятельности. Главной особенностью технических наук считается то, что конечной их целью выступает не познание истины о природных процессах, а эффективное использование этих процессов в производственной и иной деятельности человека. Поэтому большая часть технического знания может быть отнесена к разряду *прикладного*, которое принято отличать от знания *фундаментального*.

Соотношение фундаментальных и прикладных наук обычно выражают противопоставлением «знания, что» «знанию, как». Задача прикладных наук – обеспечить практическое применение фундаментального знания, довести его конечный продукт до потребителя.

1.2. Естествознание и его отличие от гуманитарных наук

Естествознание – наука о явлениях и законах природы. Оно включает многие естественнонаучные отрасли: биологию, химию, физику, а также смежные отрасли: биохимию, физическую химию, биофизику и т. д.

Цель естествознания – описать, систематизировать и объяснить совокупность природных явлений и процессов, основываясь на трех принципах научного познания действительности:

1. *Причинность* – связь между отдельными состояниями видов и форм материи в процессе ее движения и развития. Возникновение и изменение свойств объектов имеет свои основания, называемые причинами, а вызываемые ими изменения – следствиями. Причины порождают следствия, следствие, определяясь причиной, оказывает обратное воздействие на нее.

2. *Критерий истины*. Естественнонаучная истина проверяется практикой: наблюдениями, опытами, экспериментами.

3. *Относительность научного знания*. Научное знание всегда относительно и ограничено. Цель ученого – установить границы ответственности знания действительности. Например, классическая механика описывает движение макроскопических тел, но она неприменима для микромира, в котором действуют законы квантовой механики.

К настоящему времени сложилась устойчивая традиция различения гуманитарного и естественнонаучного знания по принципиально несводимым к общему знаменателю особенностям их методов, объектов, образцов научности. Ч. Сноу выделяет «две культуры»: *естественнонаучную и гуманитарную*.

Можно привести следующие аргументы в пользу обособления двух типов научного знания.

1. *Объяснение – понимание*. Природа для нас есть нечто внешнее, материальное. Сведение явлений природы к их причинам и законам существования есть объяснение – главная и определяющая познавательная процедура в науках о природе. Науки о духе, напротив, имеют дело с предметом не внешним, а внутренним для нас. Поэтому дела человеческие подлежат не столько объяснению, сколько пониманию.

2. *Генерализация – индивидуализация*. Для наук о природе характерен метод генерализирующий (выделяющий общее в вещах), для вторых – индивидуализирующий (подчеркивающий неповторимость, уникальность явления).

3. *Отношение к ценностям.* Под ценностями обычно понимают общественную или личностную значимость для человека тех или иных явлений природной и социальной реальности. Ценностная составляющая знания оказывается существенной, в основном, для гуманитаристики. Из естествознания ценности упорно изгонялись. Но, как показало развитие событий в XX веке, и естественные науки не вправе считать себя полностью свободными от ценностей.

4. *Антропоцентризм.* Естествознание потратило немало усилий, чтобы избавиться от присущего ему на первых порах антропоцентризма, то есть представления о центральном месте человека в мироздании в целом. Гуманитарное знание антропоцентрично по определению.

5. *Идеологическая нейтральность – нагруженность.* Теоретическое знание, в котором представлен тот или иной социально-групповой интерес, называется идеологией. Поскольку истину в области обществознания ищут вполне конкретные представители определенных социальных групп (наций, классов), то происходит взаимоналожение научных и идеологических устремлений, и гуманитарные науки невольно оказываются идеологически нагруженными. Естественные науки идеологически нейтральны. А если в них и представлен какой-либо социальный интерес, то, скорее всего, общечеловеческий.

6. *Субъектно-объектное отношение.* В области естествознания субъект (человек) и объект познания (природа) строго разделены. Человек как бы наблюдает природный мир «со стороны», отстраненно. В сфере же гуманитарной субъект (человек) и объект познания (общество) частично совпадают.

7. *Количество – качество.* Естествознание, как известно, превратилось в полноценную науку с тех самых пор, как сумело опереться на экспериментально-математические методы. Именно упор на строго объективную количественную оценку изучаемых объектов и принес естествознанию славу «точных наук». Гуманитариям в этом плане повезло меньше. Мало того, что изучаемые ими явления плохо поддаются математической (количественной) обработке, так еще и экспериментальные методы исследования весьма затруднены из-за моральных запретов. Из гуманитарных наук разве что у психологии есть обширная экспериментальная база.

8. *Устойчивость – подвижность объекта.* По сравнению с масштабами человеческой жизни природные объекты необычайно

стабильны. Постоянство же объектов социальных иное. Их динамика вполне сопоставима с протяженностью жизни отдельного человека.

1.3. Структура естественнонаучного познания

В структуре естественнонаучного познания выделяют два уровня познания: эмпирический и теоретический.

Эмпирический уровень познания. Главная опора, фундамент науки – это, конечно, установленные факты. Если они установлены правильно (подтверждены многочисленными свидетельствами наблюдения, экспериментов, проверок), то считаются бесспорными и обязательными. Это – эмпирический, то есть опытный, базис науки. Эмпирическое исследование направлено непосредственно на изучаемый объект и реализуется посредством наблюдения и эксперимента. Количество накопленных наукой фактов непрерывно возрастает. Естественно, они подвергаются первичному эмпирическому обобщению, приводятся в различные системы и классификации.

В структуре эмпирического знания выделяют четыре уровня. Первый уровень – *единичные эмпирические высказывания*. Это так называемые «протокольные предложения». При составлении таких протоколов фиксируется точное время и место наблюдения.

Вторым уровнем эмпирического знания являются *факты*. Научные факты представляют собой индуктивные обобщения протоколов. Это обязательно общие утверждения статистического или универсального характера. Они утверждают отсутствие или наличие некоторых событий, свойств, отношений в исследуемой предметной области и их интенсивность (количественную определенность). Их символическими представлениями являются графики, диаграммы, таблицы, классификации, математические модели. Важнейшим свойством научного факта является его достоверность. Достоверность научного факта обуславливается возможностью его воспроизводства различными экспериментами и разными экспериментаторами.

Третьим уровнем эмпирического знания являются *эмпирические законы* различных видов (функциональные, причинные, структурные, динамические, статистические и т. д.). Например, периодический закон химических элементов Менделеева.

Четвертым уровнем эмпирического знания являются *феноменологические теории*. Они представляют собой логически организованное множество соответствующих эмпирических законов и фактов (феноменологическая термодинамика, небесная механика Кеплера). Являясь высшей формой логической организации эмпирического

знания, феноменологические теории, тем не менее, остаются предположительным, вероятностным знанием.

Различия между уровнями внутри эмпирического знания являются скорее количественными, чем качественными, так как отличаются лишь степенью общности представления одного и того же содержания. Но от теоретического знания эмпирическое знание отличается качественно.

Теоретическое исследование концентрируется вокруг универсальных законов и гипотез. В теории происходит реорганизация, или реструктуризация, добытого эмпирического материала на основе некоторых исходных принципов. Проблема различения двух уровней научного познания – теоретического и эмпирического (опытного) – появляется из одной специфической особенности его организации, суть которой заключается в существовании различных типов обобщения доступного изучению материала. На уровне чувственно-практического опыта (эмпирическом) возможно фиксирование только внешних общих признаков вещей и явлений. Существенные же внутренние их признаки здесь можно только угадать. Объяснить же их и обосновать позволяет лишь теоретический уровень познания.

Итак, проблема различия теоретического и эмпирического уровней научного познания коренится в различии способов идеального воспроизведения объективной реальности, подходов к построению системного знания. За эмпирическим знанием, в частности, исторически и логически закрепились функции сбора, накопления и первичной рациональной обработки данных опыта. Его главная задача – фиксация фактов. Объяснение же, интерпретация их – дело теории.

Различаются рассматриваемые уровни познания и по объектам исследования. Проводя исследование на эмпирическом уровне, ученый имеет дело непосредственно с природными и социальными объектами. Теория же оперирует исключительно с идеализированными объектами (материальная точка, идеальный газ, абсолютно твердое тело и проч.).

Теория является высшей формой организации научного знания. Разработка теории сопровождается, как правило, введением понятий, фиксирующих непосредственно ненаблюдаемые стороны объективной реальности. Поэтому проверка истинности теории не может быть осуществлена прямым наблюдением. Возникает вопрос: как отличить псевдонаучные идеи от научных?

Для этих целей сформулировано несколько принципов. *Принцип верификации*: какое-либо понятие или суждение имеет значение, если оно сводимо к непосредственному опыту, то есть эмпирически проверяемо. Например, невозможно опытным путем установить верность представлений ученых о кварках, но кварковая теория предсказывает ряд явлений, которые уже обнаружены опытным путем.

Философ XX века *К. Поппер* предложил еще один принцип разграничения науки и ненауки – *принцип фальсификации*: критерием научного статуса теории является ее фальсифицируемость, или опровержимость. Несмотря на парадоксальную форму, этот принцип имеет глубокий смысл. Никакое количество падающих яблок не является достаточным для подтверждения истинности закона всемирного тяготения, однако достаточно всего одного яблока, полетевшего прочь от Земли, чтобы закон признать ложным. Теория, неопровержимая в принципе, не может быть научной: например, идея божественного сотворения мира.

1.4. Методы естественнонаучного познания

Метод есть совокупность правил, приемов познавательной и практической деятельности, обусловленных природой и закономерностями исследуемого объекта.

Современная система методов познания отличается высокой сложностью и дифференцированностью. Наиболее простая классификация методов познания предполагает их разделение на всеобщие, общенаучные, конкретно-научные.

1. *Всеобщие методы* характеризуют приемы и способы исследования на всех уровнях научного познания. К ним относятся методы анализа, синтеза, индукции, дедукции, сравнения, идеализации и т. д. Эти методы настолько универсальны, что работают даже на уровне обыденного сознания.

Анализ представляет собой процедуру мысленного (или реального) расчленения, разложения объекта на составные элементы в целях выявления их системных свойств и отношений.

Синтез – операция соединения выделенных в анализе элементов изучаемого объекта в единое целое.

Индукция – способ рассуждения или метод получения знания, при котором общий вывод делается на основе обобщения частных посылок. Индукция может быть полной и неполной. Полная индук-

ция возможна тогда, когда посылки охватывают все явления того или иного класса. Однако такие случаи встречаются редко. Невозможность учесть все явления данного класса заставляет использовать неполную индукцию, конечные выводы которой не имеют строго однозначного характера.

Дедукция – способ рассуждения или метод движения знания от общего к частному, то есть процесс логического перехода от общих посылок к заключениям о частных случаях. Дедуктивный метод может давать строгое, достоверное знание при условии истинности общих посылок и соблюдении правил логического вывода.

Аналогия – прием познания, при котором наличие сходства признаков нетождественных объектов позволяет предположить их сходство и в других признаках. Так, обнаруженные при изучении света явления интерференции и дифракции позволили сделать вывод о его волновой природе, поскольку раньше те же свойства были зафиксированы у звука, волновой характер которого был уже точно установлен. Аналогия – незаменимое средство наглядности, изобразительности мышления. Но еще Аристотель предупреждал, что «аналогия не есть доказательство»! Она может давать лишь предположительное знание.

Абстрагирование – прием мышления, заключающийся в отвлечении от несущественных, незначимых для субъекта познания свойств и отношений исследуемого объекта с одновременным выделением тех его свойств, которые представляются важными и существенными в контексте исследования.

Идеализация – процесс мысленного создания понятий об идеализированных объектах, которые в реальном мире не существуют, но имеют прообраз. Примеры: идеальный газ, абсолютно черное тело.

2. *Общенаучные методы* – моделирование, наблюдение, эксперимент.

Исходным методом научного познания считается *наблюдение*, то есть преднамеренное и целенаправленное изучение объектов, опирающееся на чувственные способности человека – ощущения и восприятия. В ходе наблюдения возможно получение информации лишь о внешних, поверхностных сторонах, качествах и признаках изучаемых объектов.

Итогом научных наблюдений всегда является описание исследуемого объекта, фиксируемое в виде текстов, рисунков, схем, графиков, диаграмм и т. д. С развитием науки наблюдение становится все более сложным и опосредованным путем использования различных технических устройств, приборов, измерительных инструментов.

Еще одним важнейшим методом естественнонаучного познания является *эксперимент*. Эксперимент – способ активного, целенаправленного исследования объектов в контролируемых и управляемых условиях. Эксперимент включает процедуры наблюдения и измерения, однако не сводится к ним. Ведь экспериментатор имеет возможность подбирать необходимые условия наблюдения, комбинировать и варьировать их, добиваясь «чистоты» проявления изучаемых свойств, а также вмешиваться в «естественное» течение исследуемых процессов и даже искусственно их воспроизводить.

Главной задачей эксперимента, как правило, является предсказание теории. Подобные эксперименты называют *исследовательскими*. Другой тип эксперимента – *проверочный* – предназначен для подтверждения тех или иных теоретических предположений.

Моделирование – метод замещения изучаемого объекта подобным ему по ряду интересующих исследователя свойств и характеристик. Данные, полученные при изучении модели, затем с некоторыми поправками переносятся на реальный объект. Моделирование применяется в основном тогда, когда прямое изучение объекта либо невозможно (очевидно, что феномен «ядерной зимы» в результате массированного применения ядерного оружия кроме как на модели лучше не испытывать), либо связано с непомерными усилиями и затратами. Последствия крупных вмешательств в природные процессы (поворот рек, например) целесообразно сначала изучить на гидродинамических моделях, а потом уже экспериментировать с реальными природными объектами.

Моделирование – метод фактически универсальный. Он может использоваться в системах самых различных уровней. Обычно выделяют такие типы моделирования, как предметное, математическое, логическое, физическое, химическое и проч. Широчайшее распространение в современных условиях получило компьютерное моделирование.

3. *Конкретно-научные методы* представляют собой системы сформулированных принципов конкретных научных теорий. Например: психоаналитический метод в психологии, метод морфофизиологических индикаторов в биологии и т. д.

1.5. Научные революции как трансформация оснований науки

Научная революция – закономерный и периодически повторяющийся в истории науки процесс качественного перехода от одного способа познания к другому, отражающий глубинные связи и отношения природы.

Таких четко и однозначно фиксируемых радикальных смен научных картин мира, то есть научных революций, в истории развития науки вообще и естествознания в частности можно выделить три. Если их персонифицировать по именам ученых, сыгравших в этих событиях наиболее заметную роль, то три глобальных научных революции должны именоваться аристотелевской, ньютоновской и эйнштейновской.

В VI-IV вв. до н.э. была осуществлена *первая революция* в познании мира, в результате которой и появляется на свет сама наука. Наиболее ясно наука осознала саму себя в трудах великого древнегреческого философа *Аристотеля*. Он создал *формальную логику*, то есть фактически учение о доказательстве, – главный инструмент вывода и систематизации знания; разработал *категориально-понятийный аппарат науки*; утвердил своеобразный *канон организации научного исследования* (история вопроса, постановка проблемы, аргументы «за» и «против», обоснование решения); предметно дифференцировал само научное знание, отделив науки о природе от метафизики (философии), математики и т. д. Заданные Аристотелем нормы научности знания, образцы объяснения, описания и обоснования в науке пользовались непререкаемым авторитетом более тысячи лет, а многое (законы формальной логики, например) действительно и поныне.

Вторая глобальная научная революция приходится на XVI-XVIII вв. Ее исходным пунктом считается *переход от геоцентрической модели мира к гелиоцентрической*. Это, безусловно, самый заметный признак смены научной картины мира, но он мало отражает суть происшедших в эту эпоху перемен в науке. Их общий смысл обычно определяется формулой: *становление классического естествознания*. Такими классиками-первопроходцами признаны: Н. Коперник, Г. Галилей,

И. Кеплер, Р. Декарт, И. Ньютон. Итог этой научной революции – *механистическая научная картина мира на базе экспериментально-математического естествознания*.

«Потрясение основ» – *третья научная революция* – случилось на рубеже XIX-XX вв. Наиболее значимыми теориями, составившими основу новой парадигмы научного знания, стали *теория относительности* (специальная и общая) и *квантовая механика*. Первую можно квалифицировать как новую общую теорию пространства, времени и тяготения. Вторая обнаружила вероятностный характер законов микромира, а также неустранимый корпускулярно-волновой дуализм в самом фундаменте материи.

Другой подход к выделению научных революций позволяет рассмотреть четыре глобальные революции, связанные с типом научной рациональности.

В *первой научной революции XVII в.* возникла *классическая европейская наука* и сформировался особый тип рациональности, получивший название научного. *Научный тип рациональности* появился в результате отказа европейской науки от метафизики.

Природа рассматривалась как единая истинная реальность, как вещественный универсум, из которого был элиминирован всякий духовный компонент. Объекты рассматривались преимущественно в качестве механических устройств. Свойства целого сводились к сумме свойств его частей. Элементы целого были связаны жесткими причинно-следственными связями. Время не влияло на характер событий и процессов, а рассматривалось как некий внешний параметр. Абстрагируясь от всякой соотнесенности с познающим субъектом, естествознание претендовало на статус точной науки о природных телах. В научную картину мира впускалось только то, что можно практически объективировать и проконтролировать.

Вторая научная революция произошла в *конце XVIII – первой половине XIX в.* Произошел переход от классической науки, ориентированной, в основном, на изучение механических и физических явлений, к *дисциплинарно организованной науке*. Появление таких наук, как биология, химия, геология, способствовало тому, что механическая картина мира перестает быть общезначимой и общемировоззренческой. Биология и геология вносят в картину мира идею развития, которой не было в механической картине мира.

Третья научная революция охватывает период с *конца XIX до середины XX в.* Появляется *неклассическое естествознание* и соот-

ветствующий ему тип рациональности. Революционные преобразования произошли сразу во многих науках: в физике были разработаны релятивистская и квантовые теории; в биологии – генетика; в химии – квантовая химия. В центр исследовательских программ выдвигается изучение объектов микромира. Произошли изменения в понимании идеалов и норм научного знания.

Во-первых, ученые согласились с тем, что мышлению дан не объект в его первоначальном состоянии, а взаимодействие объекта с прибором. Во-вторых, так как эксперимент проводит исследователь, то проблемы истины напрямую связываются с деятельностью исследователя. В-третьих, под сомнение была поставлена возможность субъекта познания реализовывать идеальные модели и проекты, вырабатываемые рациональным сознанием. В-четвертых, в противовес идеалу единственно научной теории, стала допускаться истинность нескольких отличающихся друг от друга теоретических описаний одного и того же объекта.

Четвертая научная революция совершилась в *последнюю треть XX столетия*. Рождается *постнеклассическая наука*, объектами изучения которой становятся исторически развивающиеся системы. Формируется *рациональность постнеклассического типа*. В постнеклассической науке историческая реконструкция как тип теоретического знания стала использоваться в космологии, астрономии и даже физике элементарных частиц, что привело к изменению картины мира. Возникло новое направление в научных исследованиях – *синергетика*. Важным моментом четвертой научной революции было оформление космологии как особой научной дисциплины, изучающей Вселенную в целом.

1.6. Модели развития науки

Модели развития науки, позволяющие объяснить чередование эволюционных и революционных периодов в науке, были предложены Т. Куном, И. Лакатосом, К. Поппером.

Карл Раймунд Поппер ввел термин «*демаркация*» (определение границ между наукой и ненаукой). Считалось, что наука отличается от псевдонауки своей опорой на факты, своим эмпирическим методом. Философы и ученые утверждали, что любая теория, претендующая на то, чтобы быть научной, должна быть выводима из опыта.

Карл Поппер не принял этого тезиса. Уже наблюдение предполагает некоторую теоретическую установку, некоторую исходную гипотезу. Не имея предпосылок, нельзя наблюдать, а потому можно смотреть, но не видеть. Наблюдается то, что нужно для решения задачи. Помимо этого теория строится на базе предпосылок, прямо противоположных опыту. Она формулируется не для реальных, а для идеальных объектов. Любую теорию можно подтвердить, если мы специально ищем подтверждения. Хорошая теория должна давать основания для её опровержения. Такая теория является некоторым запрещением, она запрещает определенные события.

Чем больше теория запрещает, тем она лучше, ибо тем больше она рискует быть опровергнутой. Поппер утверждает: «Критерием научного статуса теории является её фальсифицируемость, опровержимость или проверяемость». Итак, критерий демаркации, по Попперу, требует для определения научности знания не подтверждения (верификации) его в опыте, а возможности опровержения (фальсифицируемости) в решающих экспериментах.

Поппер очень много внимания уделяет проблеме роста научного знания. Он полагает, что основной метод развития науки – *метод проб и ошибок*. После пробного выдвижения первоначальной гипотезы необходимо стремиться найти для нее различные *контрпримеры (фальсификаторы)*. Рано или поздно такие контрпримеры находятся, гипотеза оказывается ошибочной и отбрасывается, заменяясь новой гипотезой. Порою складывается впечатление, что, с точки зрения Поппера, теоретическое знание в науке только для того и нужно, чтобы как можно скорее его опровергнуть. Такая гонка фальсификаций вряд ли присутствует в реальной науке в столь гипертрофированном виде.

Модель эволюции знания у Поппера достаточно близка *дарвиновской модели* эволюции. Роль организмов в модели эволюции Поппера играют научные гипотезы, роль среды – разного рода примеры и контрпримеры. Все гипотезы-организмы рано или поздно вымирают, заменяясь новыми гипотезами.

Философия науки К. Поппера, поставившая проблематику развития научного знания в центр внимания, столкнулась с необходимостью соотнесения своих выводов с реальной практикой научного исследования в её историческом развитии. Вскоре обнаружилось, что методологическая концепция, требующая немедленного отбрасывания

теорий, если эти теории сталкиваются с опытными опровержениями, не соответствуют тому, что происходит и происходило в науке.

И. Лакатос попытался преодолеть недостатки фальсификационизма Поппера. При достаточной находчивости, считает он, можно на протяжении длительного времени защищать любую теорию, даже если эта теория ложна. Ни один эксперимент не является решающим и достаточным для опровержения теории. Лакатос показал это на примере из истории науки.

Некий астроном, пользуясь механикой Ньютона вместе с законом всемирного тяготения, строго вычислил траекторию незадолго до этого обнаруженного небесного тела – малой планеты Р. Однако наблюдения показали, что реальная траектория Р отличается от вычисленной. Если бы ученые действовали в строгом соответствии с требованиями «догматического фальсификационизма», им следовало бы немедленно отбросить ньютоновскую теорию и заняться поисками другой, согласующейся с фактами, теории. На самом деле все происходит иначе. Выдвигается предположение, что должна существовать ещё одна неизвестная (никогда не наблюдавшаяся) планета Р1, притяжение которой и является причиной отклонения планеты Р от вычисленной траектории.

Лакатос выдвинул *концепцию исследовательских программ*. Под исследовательской программой понимается теория, способная защитить себя в ситуациях столкновения с противоречащими ей эмпирическими данными. В исследовательской программе Лакатос выделяет «жесткое ядро», то есть основные принципы или законы, и «защитные пояса», которыми ядро окружает себя в случае эмпирических затруднений.

«Жестким» это «ядро» называется потому, что исследователям как бы запрещено что-либо менять в исходной теории, даже если они находят такие факты, которые вступают в противоречие с этой теорией. Согласно *негативной эвристике*, следует не отбрасывать фундаментальную теорию с обнаружением «контрпримера», а изобретать «вспомогательные гипотезы», которые примиряют теорию с фактами. Эти гипотезы образуют «защитный пояс» вокруг фундаментальной теории, они принимают на себя удары опытных проверок и в зависимости от силы и количества этих ударов могут изменяться, уточняться или даже полностью заменяться другими гипотезами.

Задача «защитного пояса» в том, чтобы как можно дольше удерживать в неприкосновенности творческий потенциал исследова-

тельской программы. Главная задача программы – обеспечить прогрессивное движение научного знания, движение к все более широким и полным описаниям и объяснениям реальности, к расширению рационально осмысленного «эмпирического содержания» научных теорий. До тех пор, пока «жесткое ядро» программы решает эту задачу (и решает лучше, чем другие, альтернативные системы идей и методов), оно представляет в глазах ученых огромную ценность. Поэтому они пользуются так называемой *положительной эвристикой*, то есть совокупностью предположений о том, как следует изменить или уточнить тут или иную гипотезу из «защитного пояса», какие новые модели нужны для того, чтобы программа могла работать в более широкой области наблюдаемых фактов. Одним словом, положительная эвристика – это совокупность приемов, с помощью которых можно и нужно изменять «опровержимую» часть программы, чтобы сохранить в неприкосновенности «неопровержимую» её часть.

Новый подход к изучению науки, включающий аксиологическое, социологическое и психологическое исследование научной деятельности, был предложен американским историком науки *Т. Куном*. В 1962 году появилась его работа «*Структура научных революций*». Кун ввел понятие «*нормальная наука*» для сообщества ученых, объединенных достаточно жесткой программой, которую Кун назвал *парадигмой*. По словам Т. Куна, парадигму составляют «...признанные всеми научные достижения». Ее содержание отражено в учебниках, в фундаментальных трудах крупнейших ученых, а основные идеи проникают и в массовое сознание. Развитие, приращение научного знания внутри, в рамках такой парадигмы получило название «*нормальной науки*». Смена же парадигмы есть не что иное, как *научная революция*.

Конкретизируя представление о парадигме, Кун вводит понятие *дисциплинарной матрицы*, включающей в себя следующие четыре элемента.

1. Символические обобщения типа второго закона Ньютона.
2. Концептуальные модели, примерами которых могут служить общие утверждения типа: «Теплота представляет собой кинетическую энергию частей, составляющих тело».
3. Ценностные установки, принятые в научном сообществе.
4. Образцы решений конкретных задач и проблем.

Любая наука, согласно Куну, проходит в своем движении фазы (периоды): допарадигмальную, парадигмальную и постпарадигмальную.

Эти три фазы можно представить как генезис науки, нормальную науку и кризис науки.

1. *Допарадигмальная стадия* развития науки. На этой стадии *парадигма отсутствует*, и существует множество враждующих между собою направлений и школ, каждая из которых развивает систему взглядов, в принципе способную в будущем послужить основанием новой парадигмы. На этой стадии существует *диссенсус*, то есть разногласия, в научном сообществе.

2. *Стадия научной революции*, когда происходит *возникновение парадигмы*, она принимается большинством научного сообщества, все остальные, не согласованные с парадигмой идеи отходят на второй план, и достигается *консенсус* – согласие между учеными на основе принятой парадигмы. На этой стадии работает особый тип ученых, своего рода ученые-революционеры, которые способны создавать новые парадигмы.

3. *Стадия нормальной науки*. Здесь происходит выделение и уточнение важных для парадигмы фактов; совершается работа по получению новых фактов, подтверждающих парадигму; осуществляется дальнейшая разработка парадигмы с целью устранения существующих неясностей и улучшения решений ряда проблем парадигмы; устанавливаются количественные формулировки различных законов; проводится работа по совершенствованию самой парадигмы: уточняются понятия, развивается дедуктивная форма парадигмального знания, расширяется сфера применимости парадигмы и т. д.

4. *Стадия кризиса парадигмы*. Постепенно *происходит накопление различных аномалий* – таких проблем, которые попадают в сферу нормальной науки, но оказываются неразрешимыми средствами имеющейся парадигмы. Рост числа аномалий является неизбежным следствием поздней разработки парадигмы. Постепенно накопившиеся аномалии приводят к кризису парадигмы.

Однако, как гласит сформулированный *Н. Бором принцип соответствия*: всякая новая научная теория не отвергает начисто предшествующую, а включает ее в себя на правах частного случая, то есть устанавливает для прежней теории ограниченную область применимости.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите функции современной науки.
2. Какие признаки отличают науку от вненаучного знания?

3. Что понимают под термином «сциентизм»?
4. Каковы особенности эмпирического уровня познания?
5. Приведите классификацию методов познания.
6. Перечислите основные достижения третьей научной революции.
7. В чем состоят недостатки модели развития науки, предложенной К. Поппером?

ГЛАВА 2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА

2.1. Развитие взглядов на пространство и время в истории науки

Уже в античном мире мыслители задумывались над природой и сущностью пространства и времени. Так, одни из философов отрицали возможность существования пустого пространства или, по их выражению, небытия. Это были представители *элейской школы* в Древней Греции. Некоторые философы, в том числе *Демокрит*, утверждали, что пустота существует, как материи и атомы, и необходима для их перемещений и соединений.

В *доньютоновский период* развитие представлений о пространстве и времени носило преимущественно стихийный и противоречивый характер. И только в «Началах» древнегреческого математика *Евклида* пространственные характеристики объектов впервые обрели строгую математическую форму. В это время зарождаются геометрические представления об однородном и бесконечном пространстве.

Геоцентрическая система К. Птолемея господствовала в естествознании до XVI в. Она представляла собой первую универсальную математическую модель мира, в которой время было бесконечным, а пространство конечным, включающим равномерное круговое движение небесных тел вокруг неподвижной Земли.

Коренное изменение пространственной и всей физической картины произошло в *гелиоцентрической системе мира*, развитой *Н. Коперником* в работе «Об обращениях небесных сфер». Принципиальное отличие этой системы мира от прежних теорий состояло в том, что в ней концепция единого однородного пространства и равномерности течения времени обрела эмпирический базис. Признав подвижность Земли, Коперник в своей теории отверг все ранее существовавшие представления о ее уникальности, «единственности» центра вращения во Вселенной. Тем самым теория Коперника не только изменила

существовавшую модель Вселенной, но и направила движение естественнонаучной мысли к признанию безграничности и бесконечности пространства.

Космологическая теория Д. Бруно связала воедино бесконечность Вселенной и пространства. Представляя Вселенную как «целое бесконечное», как «единое, безмерное пространство», Бруно делает вывод и о безграничности пространства, ибо оно «не имеет края, предела и поверхности». Практическое обоснование выводы Бруно получили в «*физике неба*» *И. Кеплера* и в *небесной механике Г. Галилея*. Кеплер установил универсальную зависимость между периодами обращения планет и средними расстояниями их до Солнца, ввел представление об их эллиптических орбитах. Концепция Кеплера способствовала развитию математического и физического учения о пространстве.

Подлинная революция в механике связана с именем Г. Галилея. Он ввел в механику точный количественный эксперимент и математическое описание явлений. Первостепенную роль в развитии представлений о пространстве сыграл открытый им общий принцип классической механики – *принцип относительности Галилея*. Согласно этому принципу, все физические (механические) явления происходят одинаково во всех системах, покоящихся или движущихся равномерно и прямолинейно с постоянной по величине и направлению скоростью. Он устанавливает инвариантность (неизменность) в системах длины, времени и ускорения.

Дальнейшее развитие представлений о пространстве и времени связано с рационалистической физикой *Р. Декарта*, который создал первую *универсальную физико-космологическую картину мира*. В основу ее Декарт положил идею о том, что все явления природы объясняются механическим воздействием элементарных материальных частиц. Взаимодействием элементарных частиц Декарт пытался объяснить все наблюдаемые физические явления: теплоту, свет, электричество, магнетизм. Само же взаимодействие он представлял в виде давления или удара при соприкосновении частиц друг с другом и ввел таким образом в физику *идею близкодействия*. Агентом, передающим взаимодействия от тела к телу, он считал частички эфира. *Эфир* трактуется Декартом как тончайшая жидкость безграничной протяженности, существующий повсюду, – как в порах тел, так и вне их, как подвижный, текучий, непрерывный.

Декарт ввел *координатную систему*, в которой время представлялось как одна из пространственных осей. Тезис о единстве физики и геометрии привел его к отождествлению материальности и протяженности. Исходя из этого тезиса он отрицал пустое пространство и отождествил пространство с протяженностью. Декарт развил также представление о соотношении длительности и времени.

Таким образом, развитие представлений о пространстве и времени в доньютоновский период способствовало созданию концептуальной основы изучения физического пространства и времени. Эти представления подготовили математическое и экспериментальное обоснование свойств пространства и времени в рамках классической механики.

В *классической механике И. Ньютона* вершиной стала *теория тяготения*, провозгласившая универсальный закон природы – закон всемирного тяготения. Согласно этому закону, сила тяготения универсальна и проявляется между любыми материальными телами независимо от их конкретных свойств. Она всегда пропорциональна произведению масс тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Распространив на всю Вселенную закон тяготения, Ньютон рассмотрел и возможную ее структуру. Он пришел к выводу, что Вселенная является не конечной, а бесконечной. Лишь в этом случае в ней может существовать множество космических объектов – центров гравитации. В 1687 г. вышел основополагающий труд Ньютона «Математические начала натуральной философии». Этот труд более чем на два столетия определил развитие всей естественнонаучной картины мира. В нем были сформулированы основные законы движения и дано определение понятий пространства, времени, места и движения.

Ньютон предлагает различать два типа понятий пространства и времени: *абсолютные* (истинные, математические) и *относительные* (кажущиеся, обыденные) и дает им следующую типологическую характеристику.

Абсолютное, истинное, математическое *время* само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью. *Относительное*, кажущееся, или обыденное, *время* есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни: час, день, месяц, год.

Абсолютное пространство по своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным. *Относительное пространство* есть мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел.

С критикой ньютоновских представлений о пространстве и времени выступил немецкий ученый *Г. В. Лейбниц*. Он развивал *реляционную концепцию* пространства и времени, отрицающую существование пространства и времени как абсолютных сущностей. Предвосхищая положения теории относительности Эйнштейна о неразрывной связи пространства и времени с материей, Лейбниц считал, что пространство и время не могут рассматриваться в «отвлечении» от самих вещей. Однако данные представления Лейбница не оказали заметного влияния на развитие физики.

Успехи ньютоновской системы (поразительная точность и кажущаяся ясность) привели к тому, что многие критические соображения в ее адрес обходились молчанием. А ньютоновская концепция пространства и времени, на основе которой строилась физическая картина мира, оказалась господствующей вплоть до конца XIX в. Основные положения этой картины мира, связанные с пространством и временем, заключаются в следующем.

Пространство считалось бесконечным, плоским, «прямолинейным», евклидовым. Его метрические свойства описывались геометрией Евклида. Оно рассматривалось как абсолютное, пустое, однородное и изотропное (нет выделенных точек и направлений) и выступало в качестве «вместилища» материальных тел, как независимая от них инерциальная система. Время понималось абсолютным, однородным, равномерно текущим. Оно идет сразу и везде во всей Вселенной «единообразно и синхронно» и выступает как независимый от материальных объектов процесс длительности. Значение указаний времени в классической механике считалось абсолютным, не зависящим от состояния движения тела отсчета.

Принятие абсолютного времени и постулирование абсолютной и универсальной одновременности во всей Вселенной явилось основой для *теории дальнего действия*. В качестве дальнедействующей силы выступало тяготение, которое с *бесконечной скоростью, мгновенно и прямолинейно* распространяло силы на бесконечные расстояния. Эти мгновенные, вневременные взаимодействия объектов служили физи-

ческим каркасом для обоснования абсолютного пространства, существующего независимо от времени.

До XIX в. физика была в основном физикой вещества, то есть она рассматривала поведение материальных объектов. Изучение электромагнитных явлений в XIX в. выявило ряд существенных отличий их свойств по сравнению с механическими свойствами тел. Связано это было в том числе с исследованием природы света.

Х. Гюйгенс придерживался волновой концепции света, согласно которой свет – это волна, распространяющаяся в упругой механической среде, которая есть *светоносный эфир*. Наряду со светоносным эфиром, для объяснения электрических свойств тел *Б. Франклином* вводится понятие *электрического эфира*, а *Ф. Эпинусом* – понятие о *магнитной жидкости*.

Возник вопрос: неподвижен ли сам эфир или же он движется? Если он движется, то увлекается ли движущимися телами? Исследования различных ученых привели к трем концепциям природы эфира. Первая из них определяла эфир как неподвижную среду, не увлекающуюся движущимися телами. Вторая гласила о полном увлечении эфира движущимися телами, вследствие чего различные слои эфира должны иметь различные скорости. И, наконец, третья точка зрения, высказанная *О. Френелем*, говорила о частичном увлечении эфира движущимися телами.

Проблемная ситуация в физической теории тотчас же стимулировала постановку экспериментов, в ряду наиболее блистательных из которых являются *опыт Л. Физо* и *опыт А. Майкельсона*. Однако проблема казалась неразрешимой, ибо результаты опытов Физо свидетельствовали о частичном увлечении эфира, результаты опытов Майкельсона – о полном увлечении эфира, явление же абберации света указывает на то, что если эфир существует, то он неподвижен. Все точки зрения, базирующиеся на динамических теориях эфира, оказались несостоятельными.

Хотя гипотеза эфира была устранена наукой XX века, она оставила несомненно важный след в формировании физических понятий. Ведь принятие эфира – это, по существу, принятие точки зрения близкодействия – передачи взаимодействия от одной точки эфира к другой, что привело в исследованиях *М. Фарадея* и *Дж. Максвелла* к выработке понятия *поля*.

Фарадей считает, что электрическое действие передается на расстоянии, однако не на основе ньютоновского взаимодействия, а по-

средством силовых линий, которые соединяют друг с другом частицы. Новый взгляд Фарадея наполнил пустое пространство Ньютона непрерывной совокупностью материальных субстанций – силовым полем. У Максвелла мы находим констатацию существования поля как реальности и одновременно признание им материальной среды – эфира. Иными словами, поле он рассматривает как возбужденное состояние эфира. В дальнейшем поле как реальность наделяется теми же характеристиками, что и вещество: энергией, массой, импульсом. К началу XX века физика изучает материю в двух ее проявлениях – *вещество и поле*.

Структура электромагнитного поля резюмируется в *семи уравнениях Максвелла*. Эти уравнения отличаются от уравнений механики. Уравнения механики применимы к областям пустого пространства, в которых присутствуют частицы. Уравнения же Максвелла применимы для всего пространства, независимо от того, присутствует там вещество (в том числе, заряженные тела), иными словами, позволяют проследить изменения поля во времени в любой точке пространства, то есть получить уравнение электромагнитной волны. Уравнения Максвелла позволяют описывать все известные электрические и магнитные явления. Исходя из своих уравнений, после ряда преобразований Максвелл устанавливает, что электромагнитные волны распространяются с той же скоростью, что и свет, и приходит к выводу о том, что *свет – это электромагнитная волна*, что было позднее, уже после смерти Максвелла, экспериментально подтверждено Г. Герцем. Таким образом, Максвеллу удалось подтвердить действие законов сохранения и принципа близкодействия благодаря введению понятия электромагнитного поля.

Новое понимание пространства и времени мы находим в специальной теории относительности А. Эйнштейна. В ней понятия «длина», «промежуток времени» между событиями и даже «одновременность» событий оказались не абсолютными, а относительными.

2.2. Специальная теория относительности

Еще в классической механике был известен *принцип относительности Г. Галилея*: «Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой». Такие системы называются *инерциальными*, поскольку движение в них подчиняется *закону инерции (первый закон Ньютона)*. Общепринятая

формулировка первого закона Ньютона такова: «Существуют системы отсчета, относительно которых всякое тело сохраняет состояние своего движения (состояние покоя или равномерного прямолинейного движения), пока действие всех тел и полей на него компенсировано».

Если мы имеем хотя бы одну такую инерциальную систему отсчета, то всякая другая система отсчета, которая движется относительно первой равномерно и прямолинейно, также является инерциальной. Все другие системы отсчета называются *неинерциальными*. Под *системой отсчета* понимается тело отсчета, относительно которого рассматривается движение, связанная с телом отсчета система координат (например, декартова система координат, состоящая из трех взаимоперпендикулярных пространственных координатных осей) и заданный способ определения времени.

Рассмотрим покоящуюся инерциальную систему отсчета K и другую инерциальную систему отсчета K' , движущуюся относительно K равномерно и прямолинейно со скоростью V , много меньшей скорости света (рис. 1). Пусть оси X и X' обеих рассматриваемых систем отсчета совпадают, а оси Y и Y' ; Z и Z' соответственно параллельны.

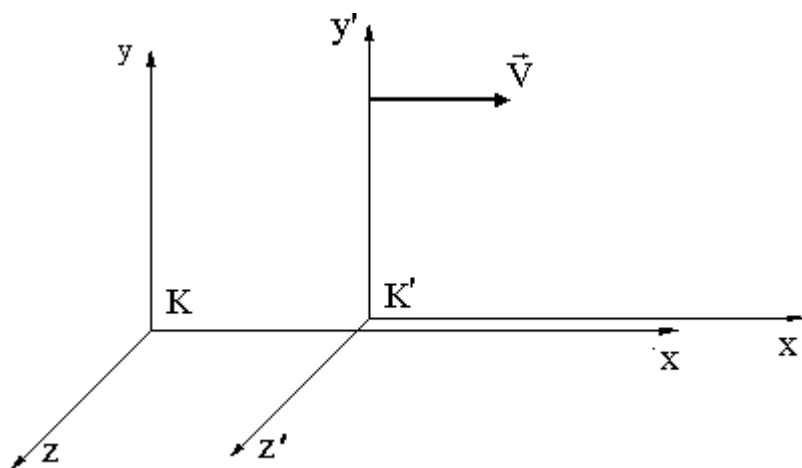


Рис. 1. Инерциальные системы K и K' , движущиеся относительно друг друга

Положение некоторой точки (тела) в системах отсчета выражается значениями декартовых координат в соответствующих системах отсчета. Легко видеть, что между ними имеется следующая зависимость:

$$X = X' + Ut; Y = Y'; Z = Z'. \quad (1)$$

Скорости движения тела относительно обеих систем отсчета:

$$U = U' + V. \quad (2)$$

Скорость относительно неподвижной системы отсчета складывается из скорости относительно подвижной системы отсчета и скорости самой системы отсчета.

Если теперь возьмем производную по времени от правой и левой части уравнения (2), то найдем выражение, связывающее ускорения тела относительно обеих систем отсчета. Так как система K' движется равномерно и прямолинейно относительно K и скорость V является постоянной величиной, то производная от V по времени равна 0, и мы получаем:

$$a = a'. \quad (3)$$

Уравнения (1), (2), (3) называются *преобразованиями Галилея* и описывают, как связаны между собой кинематические параметры движения тела при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую. Тот факт, что ускорения тел относительно обеих инерциальных систем отсчета одинаковы, позволяет сделать вывод о том, что законы механики, определяющие причинно-следственные связи движения тел, одинаковы во всех инерциальных системах отсчета. И это составляет суть принципа относительности Галилея.

В начале XX века выяснилось, что принцип относительности справедлив также в оптике и электродинамике, то есть в других разделах физики. Принцип относительности расширил свое значение и теперь звучал так: *законы физики имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета.*

После того как физики отказались от представления о существовании эфира как всеобщей среды, рухнуло и представление об эталонной системе отсчета. Все системы отсчета были признаны равнозначными, и принцип относительности стал универсальным. Относительность в теории относительности означает, что все системы отсчета одинаковы и нет какой-либо одной, имеющей преимущества перед другими. Вместе с принципом относительности в физике утвердились понятия инвариантности, инвариантов и симметрии, а также связь их с законом сохранения и вообще с законами природы. *Инвариантность* означает неизменность физических величин или свойств природных объектов при переходе от одной системы отсчета к другой.

Экспериментальные данные о *постоянстве скорости света* (согласно *опыту Майкельсона – Морли*) привели к парадоксу, для разрешения которого понадобилось введение принципиально новых представлений. Пояснить сказанное поможет следующий пример.

Предположим, что мы плывем на корабле, движущемся прямолинейно и равномерно относительно берега. Все законы движения остаются здесь такими же, как на берегу. Общая скорость движения будет определяться суммой движения на корабле и движения самого корабля. При скоростях, далеких от скорости света, это не приводит к отклонению от законов классической механики. Но если наш корабль достигнет скорости, близкой к скорости света, то сумма скорости движения корабля и на корабле может превысить скорость света, чего на самом деле не может быть, так как в соответствии с экспериментом Майкельсона скорость света всегда одинакова во всех системах координат, независимо от того, движется ли излучающий источник или нет.

Рассматривая это противоречие, *А. Эйнштейн* предложил отказаться от представления об абсолютности и неизменности свойств пространства и времени. Он ввел следующие *постулаты теории относительности*:

1. *Принцип относительности*: все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

2. *Принцип постоянства скорости света*: скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

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

Это подтверждается преобразованиями Лоренца, которые ученый вывел для подтверждения гипотезы о сокращении размеров тела в направлении их движения относительно эфира. Эйнштейн наполняет преобразования Лоренца новым физическим содержанием. Так, если Лоренц рассматривал сокращение линейных размеров движущихся тел как действительное сокращение по отношению к неподвижному эфиру, то Эйнштейн рассматривает это сокращение как кажущееся для наблюдателя, относительно которого тело движется. Сокращение линейных размеров тел и замедление длительности временных интервалов – это следствие различных процессов измерения, которыми

пользуются различные наблюдатели в различных системах отсчета. Итак, два постулата принципа относительности должны быть дополнены преобразованиями Лоренца. При скоростях систем отсчета v , близких к скорости света c , имеем:

$$l = l' \sqrt{1 - v^2/c^2};$$
$$\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

где l – линейный размер тела в системе K ;

l' – линейный размер тела в системе K' ;

Δt – промежуток времени в системе K ;

$\Delta t'$ – промежуток времени в системе K' .

Эйнштейн показал также, что преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея при скоростях, намного меньших скорости света, тем самым устанавливая границы применимости классической механики для мира малых скоростей.

2.3. Общая теория относительности

В специальной теории относительности свойства пространства и времени рассматриваются без учета гравитационных полей, которые не являются инерциальными. Общая теория относительности распространяет законы природы на все, в том числе на неинерциальные системы. Самой важной особенностью поля тяготения, известной в ньютоновской теории и положенной Эйнштейном в основу общей теории относительности, является то, что тяготение совершенно одинаково действует на разные тела, сообщая им одинаковые ускорения независимо от массы, химического состава и других свойств тел. Так, на поверхности Земли все тела падают под влиянием ее поля тяготения с одинаковым ускорением – ускорением свободного падения. Этот факт был установлен опытным путем Галилеем. Он может быть сформулирован как *факт равенства инертной и гравитационной массы*.

В картине мира современной физики фундаментальную роль играет *принцип эквивалентности*, согласно которому поле тяготения в небольшой области пространства и времени (в которой его можно считать однородным и постоянным во времени) по своему проявлению тождественно ускоренной системе отсчета. Не существует эксперимента, с помощью которого можно было бы отличить действие гравитационного поля от действия ускоренного движения по отношению к «неподвижным» звездам. Действительно, если мы вынесем объект в космос, где гравитация уже не действует, то, если ускорение

ракеты равно по величине ускорению силы тяжести на Земле и при этом наблюдается движение предмета относительно пола ракеты, ускоренное движение будет одним и тем же. Другими словами, если лаборатория лишена окон, то наблюдатель никогда не сможет отличить ускорения, создаваемого силой тяжести, от ускорения, создаваемого двигателем ракеты.

Принцип эквивалентности следует из равенства инертной и гравитационной масс. В соответствии с этим принципом общая теория относительности трактует *тяготение как искривление четырехмерного пространственно-временного континуума*. Массы, создающие поле тяготения, по общей теории относительности, искривляют пространство и меняют течение времени. Чем сильнее поле, тем медленнее течет время по сравнению с течением времени вне поля. Тяготение зависит не только от распределения масс в пространстве, но и от их движения, от электромагнитного и всех других физических полей. Изменения гравитационного поля распределяются в вакууме со скоростью света. В теории Эйнштейна *материя влияет на свойства пространства и времени*.

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

Общая теория относительности показала *единство пространства и времени*, выражающееся в совместном изменении их характеристик в зависимости от концентрации масс и их движения. Время и пространство перестали рассматриваться независимо друг от друга, и возникло представление о *пространственно-временном четырехмерном континууме*.

Общая теория относительности связала также массу и энергию соотношением:

$$E = mc^2,$$

где c – скорость света.

В теории относительности два закона – закон сохранения массы и сохранения энергии – потеряли свою независимую друг от друга справедливость и оказались объединенными в единый закон.

В свое время Эйнштейн предложил два способа *экспериментальной проверки общей теории относительности*: аномалии в движении планет Солнечной системы, в частности Меркурия, и поведение электромагнитных волн вблизи таких массивных тел, как Солнце.

Ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты (перигелий) не должна менять своего положения по отношению к «неподвижным» звездам. Существуют, конечно, небольшие отклонения от точно эллиптических орбит, называемые возмущениями и обусловленные тем, что на данную планету действуют другие планеты. Но эти отклонения очень малы по сравнению с гравитационной силой Солнца. Около 100 лет тому назад было обнаружено малое перемещение перигелия Меркурия, которое даже с учетом возмущений других планет не удалось объяснить исчерпывающим образом. В частности, было предположено даже наличие какой-то ранее не наблюдавшейся планеты между Меркурием и Солнцем, которую заранее называли Вулканом. Ее безуспешно искали в течение многих лет. Перигелий Меркурия прецессировал с очень малой скоростью, и его орбита напоминала медленно поворачивающийся эллипс. После учета влияния со стороны всех реальных прочих планет оказалось, что остаточная прецессия составляет $43,11''$ за столетие, отчего и был сделан вывод, что закон всемирного тяготения слегка не точен. Если же для вычисления эффектов, связанных с замедлением течения времени зависимостью массы от скорости, использовать теорию относительности, то расчет, проведенный Эйнштейном, показывает значение $43,03''$.

Общая теория относительности предсказывает, что, когда луч проходит вблизи массивного тела, его путь должен слегка искривляться. Такой результат можно качественно понять, если вспомним, что электромагнитное излучение, в том числе свет, обладает энергией, и этой энергии соответствует масса. Поэтому гравитационное поле действует на свет и искривляет его траекторию так же, как массивное тело действует на пролетающую мимо него частицу. Так как свет распространяется с огромной скоростью, это воздействие проявляется лишь в течение короткого времени. Отклонение света от прямолинейного пути мало даже при прохождении около такого массивного тела, как Солнце, но тем не менее есть. Это было проверено экспериментально в момент солнечного затмения и спустя несколько месяцев

в 1919 г. Измерения дали отклонение примерно 2" (общая теория относительности дает 1,75").

Из общих представлений мы знаем, что если выпустить из рук какой-либо предмет, то, падая вниз, он будет в поле тяготения увеличивать свою скорость и кинетическую энергию. Аналогично, «падая» в гравитационном поле, будет набирать энергию и свет, благодаря наличию у него массы, связанной с энергией излучения. Как мы знаем, увеличение кинетической энергии падающего тела или частицы обусловлено возрастанием скорости ($E = mv^2/2$). Однако, поскольку свет всегда распространяется со скоростью c , увеличение его энергии связано с возрастанием частоты световой волны. Было установлено также, что если направление распространения света противоположно направлению вектора напряженности гравитационного поля, то свет будет терять энергию, его частота будет понижаться, а длина волны возрастать. А это, с точки зрения положения его в диапазоне длин волн, означает смещение света в гравитационном поле к красному концу спектра. Величина этого смещения очень мала, но измерима и с точностью до 10% совпадает со значением, предсказанным общей теорией относительности.

2.4. Симметрия и законы сохранения

С симметрией мы встречаемся всюду. Понятие симметрии проходит через всю многовековую историю человеческого творчества. Оно встречается уже у истоков человеческого знания; его широко используют все без исключения направления современной науки. Принципы симметрии играют важную роль в физике и математике, химии и биологии, технике и архитектуре, живописи и скульптуре, поэзии и музыке. Законы природы, управляющие неисчерпаемой в своем многообразии картиной явлений, в свою очередь, подчиняются принципам симметрии.

Существуют две группы симметрий. К первой группе относится симметрия положений, форм, структур. Это та симметрия, которую можно непосредственно видеть. Она может быть названа *геометрической симметрией*. Вторая группа характеризует симметрию физических явлений и законов природы. Эта симметрия лежит в самой основе естественнонаучной картины мира: ее можно назвать *физической симметрией*.

Виды геометрической симметрии. Существует зеркальная симметрия. Название это оправдано тем, что обе части фигуры, находящиеся по разные стороны от оси симметрии или плоскости симмет-

рии, похожи на некоторый объект и его отражение в зеркале. В биологии указанный вид симметрии называют *билатеральным*, а плоскость симметрии – билатеральной плоскостью.

Кроме зеркальной симметрии существует *центральная, или поворотная симметрия*. В этом случае переход частей в новое положение и образование исходной фигуры происходит при повороте этой фигуры на определенный угол вокруг точки, которая обычно называется центром поворота. Поворотная симметрия может рассматриваться и в пространстве. Куб при повороте вокруг точки пересечения его диагоналей на угол 90° в плоскости, параллельной любой грани, перейдет в себя. Поэтому можно сказать, что куб является фигурой центрально симметричной или обладающей поворотной симметрией.

Переносная симметрия состоит в том, что части целой формы организованы таким образом, что каждая следующая повторяет предыдущую и отстоит от нее на определенный интервал в определенном направлении. Этот интервал называют шагом симметрии. Эту симметрию можно увидеть в орнаментах.

Физическая симметрия. Суть физического закона – нахождение и вычисление идентичного в явлениях. Для инерциальных систем, согласно принципу относительности Галилея, эти физические законы будут во всех системах одинаковы. Следовательно, они инвариантны относительно описания явлений как в одной инерциальной системе, так и другой и тем самым сохраняют симметрию. В общем смысле под симметрией физических законов подразумевают их инвариантность по отношению к определенным преобразованиям.

В 1918 г. были доказаны *теоремы Нетер*, смысл одной из которых состоит в том, что различным симметриям физических законов соответствуют определенные законы сохранения. Эта связь является настолько всеобщей, что ее можно считать наиболее полным отображением понятия сохранения субстанций и законов, их описывающих, в природе.

Законы сохранения – *фундаментальные физические законы, согласно которым при определенных условиях некоторые физические величины не изменяются с течением времени*.

К ним относятся:

Закон сохранения и превращения энергии – общий закон природы, согласно которому энергия любой замкнутой системы при всех процессах, происходящих в системе, остается постоянной. Энергия может только превращаться из одной формы в другую и перераспределяться между частями системы. Закон сохранения энергии является

следствием симметрии относительно сдвига во времени (однородности времени).

Закон сохранения импульса – закон механики, в соответствии с которым векторная сумма импульсов тел в замкнутой системе остается постоянной при любых взаимодействиях этих тел между собой и может только перераспределяться между частями системы. Закон сохранения импульса является следствием симметрии относительно параллельного переноса в пространстве (однородности пространства).

Закон сохранения момента импульса – физический закон, в соответствии с которым момент импульса замкнутой системы относительно любой неподвижной точки не изменяется со временем. Закон сохранения момента импульса является следствием симметрии относительно поворотов в пространстве (изотропности пространства).

Закон сохранения электрического заряда – физический закон, в соответствии с которым в замкнутой системе взаимодействующих тел алгебраическая сумма электрических зарядов (полный электрический заряд) остается неизменной при всех взаимодействиях. Закон сохранения заряда является следствием симметрии относительно замены описывающих систему комплексных параметров на их комплексно-сопряженные значения (С-инвариантность).

Закон сохранения четности, являющийся следствием симметрии относительно операции инверсии (зарядовая симметрия, Р-инвариантность).

Закон сохранения энтропии, являющийся следствием симметрии относительно обращения времени (Т-инвариантность).

Закон сохранения СРТ-четности, за которым скрывается комбинация трех симметрий (С-инвариантность, Р-инвариантность и Т-инвариантность).

Таким образом, каждому такому пространственно-временному преобразованию соответствует определенный вид симметрии. Так, перенос начала координат в произвольную точку пространства при неизменности физических свойств связан с симметрией таких преобразований (это как раз и есть трансляционная симметрия) и означает физическую эквивалентность всех точек пространства, то есть его однородность. Поворот координатных осей в пространстве связан с физической эквивалентностью разных направлений в пространстве и означает изотропность пространства. Симметрия относительно переноса во времени связана с физической эквивалентностью различных моментов времени, что должно также отражать идею независимости хода времени от его начала (время протекает одинаково).

В классической релятивистской механике *симметрия выражается в принципе относительности*. Равномерное и прямолинейное движение системы отсчета, в принципе, любого тела с произвольной скоростью, но меньшей, чем скорость света c , связано с симметрией и физической эквивалентностью такого движения и покоя. Такого рода симметрию (неразличимость покоя и равномерного прямолинейного движения) можно условно определить как изотропию пространства – времени. Эти виды симметрии объединяются в СТО в единую симметрию четырехмерного пространства-времени.

Упомянутые выше пространственно-временные симметрии условно объединяет одно общее свойство – они являются как бы «*внешними*» симметриями в том смысле, что отражают глубокие свойства структуры пространства – времени, представляющей собой форму существования любого вида материи, и поэтому справедливой для любых мыслимых взаимодействий и физических процессов. Весь физический опыт познания мира показывает отсутствие нарушений инвариантности законов природы относительно указанных пространственно-временных преобразований. В этом уже не только физический, но и философский смысл познания и установления объективности законов природы.

Сохранение величин, непосредственно не связанных со свойствами пространства-времени, относится к понятию «*внутренней*» симметрии. Одним из специальных видов симметрии в микромире является *перестановочная* симметрия. Она основана на принципиальной неразличимости одинаковых микрочастиц, которые, как мы знаем, движутся не по определенным траекториям, а их положения оцениваются по вероятностным характеристикам, связанным с квадратом модуля волновой функции $|\psi|^2$.

Исследование реакций с участием элементарных частиц и античастиц, а также процессов их распада привело к открытию некоторых новых свойств симметрии, а именно зарядовой симметрии, или, более точно, *зарядовой симметрии частиц и античастиц*.

При изучении ядерных взаимодействий нуклонов (сильные взаимодействия) было обнаружено, что эти ядерные силы почти не зависят от типа нуклонов, то есть при этих взаимодействиях нет различия между нейтроном и протоном, оба они есть два состояния одной частицы – нуклона. Аналогично, μ -мезон может находиться в трех состояниях, соответствующих трем различным частицам. Такие состояния называются изотопическими. Симметрия, связанная с этими процессами, и получила название *изотопической симметрии*.

С теорией элементарных частиц, типами взаимодействия полей и попыткой введения единого поля связаны еще два вида симметрии: кварк-лептонной и калибровочной. *Кварк-лептонная симметрия* проявляется в единой теории поля. Считается, что по существу кварки и лептоны неразличимы в области очень больших энергий. Но в случае спонтанного нарушения симметрии и в области низких энергий они приобретают совершенно различные свойства. Тем самым установлено, что между кварками и лептонами возможны переходы. Этот факт может служить еще одним убедительным доказательством единства природы.

Калибровочная симметрия связана с масштабными преобразованиями. Сам термин «калибровочное поле» (преобразование, инвариантность) выдвинул немецкий математик Г. Вейль. Смысл идеи состоит в том, что физические законы не должны зависеть от масштаба длины, выбранного в пространстве, и не должны изменять свой вид при замене этого масштаба на любой другой. Особое значение приобретает принцип калибровочной инвариантности, если преобразования приходят локально в каждой точке пространства – времени и неоднородно, то есть с изменяющимся соотношением от точки к точке. Вот это преобразование Г. Вейль и назвал масштабным, или калибровочным. Его формулировка звучит так: все физические законы инвариантны относительно произвольных (однородных и неоднородных) локальных калибровочных преобразований. В таком виде принцип Вейля является, по существу, развитием общего принципа относительности Эйнштейна, что все физические законы в любой системе отсчета (инерциальной и неинерциальной) должны иметь одинаковый вид.

Вопросы для самоконтроля

1. Соотнесите фамилию ученого и его научные достижения:

К. Птолемей	Создатель гелиоцентрической системы мира
Н. Коперник	Автор реляционной концепции пространства
Г. Галилей	Автор принципа относительности в механике
Р. Декарт	Создатель геоцентрической системы мира
Г. В. Лейбниц	Создатель системы координат

2. Почему современная физическая теория отрицает концепцию дальнего действия?

3. Назовите постулаты специальной теории относительности.

4. В чем отличие общей теории относительности от специальной?

5. Назовите способы экспериментальной проверки общей теории относительности.

6. Что понимают под физической симметрией?

7. В чем суть теоремы Нетер?

ГЛАВА 3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ МИКРОМИРА

3.1. Структурные уровни организации материи

В науке выделяются три уровня строения материи.

Микромир – мир предельно малых, непосредственно ненаблюдаемых микрообъектов, пространственная размерность которых исчисляется от 10^{-8} до 10^{-16} см, а время жизни – от бесконечности до 10^{-24} с.

Макромир – мир макрообъектов, размерность которых соотнесима с масштабами человеческого опыта: пространственные величины выражаются в миллиметрах, сантиметрах и километрах, а время – в секундах, минутах, часах, годах.

Мегамир – мир огромных космических масштабов и скоростей, расстояние в котором измеряется световыми годами, а время существования космических объектов – миллионами и миллиардами лет.

Хотя на этих уровнях действуют свои специфические закономерности, микро-, макро- и мегамиры теснейшим образом взаимосвязаны.

Согласно современным научным взглядам на природу, все природные объекты представляют собой упорядоченные, структурированные, иерархически организованные системы. В естественных науках выделяются два больших класса материальных систем: системы неживой природы и системы живой природы.

В неживой природе в качестве структурных уровней организации материи выделяют элементарные частицы, атомы, молекулы, поля, физический вакуум, макроскопические тела, планеты и планетные системы, звезды и звездные системы – галактики, системы галактик – метагалактику.

В живой природе к структурным уровням организации материи относят системы доклеточного уровня – нуклеиновые кислоты и белки; клетки как особый уровень биологической организации, представленные в форме одноклеточных организмов и элементарных единиц живого вещества; многоклеточные организмы; надорганизменные структуры, включающие виды, популяции, биоценозы и, наконец, биосферу как всю массу живого вещества.

Естественные науки, начав изучение материального мира с наиболее простых, непосредственно воспринимаемых человеком материальных объектов, переходят далее к изучению сложнейших объектов глубинных структур материи, выходящих за пределы че-

ловеческого восприятия и несоизмеримых с объектами повседневного опыта.

3.2. Квантово-механические представления. Корпускулярно-волновой дуализм

Впервые квантовые представления были введены в 1900 году немецким физиком *М. Планком* в работе, посвященной теории теплового излучения. Существовавшая в то время теория теплового излучения, построенная на основе классической электродинамики и статистической физики, приводила к противоречию. Чтобы его разрешить, Планк предположил, что свет испускается не непрерывно (как это следовало из классической теории излучения), а определенными дискретными порциями энергии – *квантами* и математически представил это в виде формулы:

$$E = h\nu,$$

где ν – частота света;

h – универсальная постоянная (постоянная Планка), характеризующая меру дискретной порции энергии, которой обмениваются вещество и излучение.

В атомную теорию вошли, таким образом, прерывистые физические величины, которые могут изменяться только скачками. *А. Эйнштейн* в 1905 году построил *теорию фотоэффекта*, развивая квантовые представления Планка. Эйнштейн предположил, что свет не только испускается и поглощается, но и распространяется квантами, то есть что дискретность присуща не только процессам испускания и поглощения света, но и самому свету, что свет состоит из отдельных порций – световых квантов.

Квант света, а более широко – электромагнитного излучения, называется *фотоном*. Этот термин ввел американский физик-химик *Г. Льюис* в 1929 году. Для создания современной картины мира важным событием оказалось то, что в 1922 году американский физик *А. Комптон* открыл эффект, в котором впервые во всей полноте проявились корпускулярные свойства электромагнитного излучения (в частности, света). Экспериментально было показано, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц.

Эффект Комптона выявил *корпускулярные свойства света*. Было экспериментально доказано, что наряду с известными *волновыми свойствами* (проявляющимися, например, в дифракции) свет облада-

ет и корпускулярными свойствами: он состоит из частиц. В этом проявляется дуализм света, его *корпускулярно-волновая природа*.

Возникло формальное логическое противоречие: для объяснения одних явлений надо было считать, что свет имеет волновую природу, для объяснения других – корпускулярную. Разрешение этого противоречия и привело к созданию физических основ квантовой механики.

В 1924 году французский физик *Луи де Бройль*, пытаясь найти объяснение постулированным в 1913 году Н. Бором условиям квантования атомных орбит, выдвинул гипотезу о *всеобщности корпускулярно-волнового дуализма*. Он утверждал, что не только фотоны, но и электроны и любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают волновыми свойствами.

Согласно де Бройлю, с каждым микрообъектом связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики – энергия E и импульс p , а с другой – волновые характеристики – частота ν и длина волны λ . Формулы, связывающие корпускулярные и волновые свойства частиц, такие же, как и для фотонов:

$$E = h\nu,$$
$$p = h/\lambda.$$

В 1927 году в эксперименте наблюдалась дифракция электронов, а позднее – дифракция и других частиц, тем самым справедливость гипотезы де Бройля была подтверждена экспериментально.

Таким образом, важная особенность явлений микромира заключается в том, что электроны и другие частицы ведут себя подобно корпускуле, когда, например, движутся во внешнем электрическом или магнитном поле, и подобно волне, когда дифрагируют, проходя сквозь кристалл. *Это явление получило название корпускулярно-волнового дуализма*.

Некоторые эффекты объясняются волновой теорией, некоторые другие – квантовой. Поэтому следует использовать разные формулы и из волновой, и из квантовой теории для более полного описания процессов – таков смысл *принципа дополнительности Н. Бора*.

С принципом дополнительности связано и так называемое «*соотношение неопределенностей*», сформулированное в 1927 году *В. Гейзенбергом*: произведение неопределенности в значении координаты и неопределенности в значении импульса не меньше, чем величина постоянной Планка:

$$\Delta X \cdot \Delta P \geq h.$$

Чем точнее определена величина X ($\Delta X \rightarrow 0$), тем больше становится неопределенность величины P ($\Delta P \rightarrow \infty$). В квантовой механике не существует состояний, в которых и местоположение, и количество движения (произведение массы на скорость) имели бы вполне определенное значение. Частица со строго определенным импульсом совершенно не локализована. Чем более определенным становится импульс, тем менее определено ее положение. В более общем плане можно сказать, что только часть относящихся к квантовой системе физических величин может иметь одновременно точные значения, остальные величины оказываются неопределенными.

Энергию системы также можно измерить с точностью, не превышающей определенной величины. Причина этого – во взаимодействии системы с измерительным прибором, который препятствует точному измерению энергии. Из соотношения неопределенностей вытекает, что энергии возбужденных состояний атомов, молекул, ядер не могут быть строго определенными.

Из данного обстоятельства, заключающегося в том, что сам измерительный прибор влияет на результаты измерения и участвует в формировании изучаемого явления, следовало, во-первых, представление об особой «физической реальности», которой присущ данный феномен, а во-вторых, представление о субъект-объектном единстве как единстве измерительного прибора и изучаемой реальности. Человек перешел на тот уровень исследования, где его влияние оказывается неустранимым в ходе эксперимента и фиксируемым результатом является взаимодействие изучаемого объекта и измерительного прибора.

3.3 Особенности изучения микромира. Динамические и статистические закономерности

Последующее изучение явлений микромира привело к результатам, которые резко расходились с общепринятыми в классической физике, и даже в теории относительности, представлениями. Классическая физика видела свою цель в описании объектов, существующих в пространстве и в формулировке законов, управляющих их изменениями во времени. В квантовой механике нет места для законов, управляющих изменениями индивидуального объекта во времени.

Для классической механики характерно описание частиц путем задания их положения и скоростей и зависимости этих величин от

времени. В квантовой механике одинаковые частицы в одинаковых условиях могут вести себя по-разному. Эксперимент с двумя отверстиями, через которые проходит электрон, позволяет и требует применения вероятностных представлений. Нельзя сказать, через какое отверстие пройдет данный электрон, но если их много, то можно предположить, что часть их проходит через одно отверстие, часть – через другое.

Это связано с *тождественностью элементарных частиц*. Тождественные частицы обладают одинаковыми физическими свойствами, массой, электрическим зарядом, спином и другими внутренними характеристиками (квантовыми числами). Например, все электроны Вселенной считаются тождественными. Понятие о тождественных частицах как о принципиально неразличимых частицах чисто квантово-механическое. Тождественные частицы подчиняются принципу тождественности.

Принцип тождественности – фундаментальный принцип квантовой механики, согласно которому состояния системы частиц, получающиеся друг из друга перестановкой тождественных частиц местами, нельзя различить ни в каком эксперименте. Такие состояния должны рассматриваться как одно физическое состояние.

Этот принцип – одно из основных различий между классической и квантовой механикой. В классической механике всегда можно проследить за движением отдельных частиц по траекториям и таким образом отличить частицы одну от другой. В квантовой механике тождественные частицы полностью лишены индивидуальности. Состояние частицы в квантовой механике описывается волновой функцией, позволяющей определить лишь вероятность нахождения частицы в данной точке пространства. Имеет смысл говорить лишь о вероятности нахождения в ней частицы.

Необходимость *вероятностного подхода* к описанию микрочастиц – важная отличительная особенность квантовой теории. Можно ли волны де Бройля истолковывать как волны вероятности, то есть считать, что вероятность обнаружить микрочастицы в различных точках пространства меняется по волновому закону? Такое толкование волн де Бройля неверно уже хотя бы потому, что тогда вероятность обнаружить частицу в некоторых точках пространства может быть отрицательной, что не имеет смысла.

Чтобы устранить эти трудности, немецкий физик *М. Борн* в 1926 году предположил, что по волновому закону меняется не сама вероят-

ность, а амплитуда вероятности, названная *волновой функцией*. Описание состояния микрообъекта с помощью волновой функции имеет статистический, вероятностный характер: квадрат модуля волновой функции (квадрат модуля амплитуды волн де Бройля) определяет вероятность нахождения частицы в данный момент времени в определенном ограниченном объеме.

Итак, в квантовой механике состояние микрочастиц описывается принципиально по-новому – с помощью волновой функции, которая является основным носителем информации об их корпускулярных и волновых свойствах.

Статистическое толкование волн де Бройля и соотношение неопределенностей Гейзенберга привели к выводу, что уравнением движения в квантовой механике, описывающим движения микрочастиц в различных силовых полях, должно быть уравнение, из которого вытекают бы наблюдаемые на опыте волновые свойства частиц. Основным должно быть уравнение относительно волновой функции, ибо именно она, или, точнее, ее квадрат определяет вероятность нахождения частицы в заданный момент времени в заданном определенном объеме. Основное уравнение квантовой механики сформулировано в 1926 г. Э. Шредингером. *Уравнение Шредингера*, как и многие уравнения физики, не выводится, а постулируется. Правильность данного уравнения подтверждается согласием с опытом получаемых с его помощью результатов, что, в свою очередь, придает ему характер закона природы.

Таким образом, в квантовой физике применяются законы не динамического, а статистического характера. *Динамический закон* – это физический закон, отображающий объективную закономерность в форме однозначной связи неких физических величин, выраженных количественно. Исторически первой и простой явилась динамическая механика Ньютона. Лапласу принадлежит абсолютизация динамических закономерностей. Согласно его принципу, все явления в мире детерминированы, то есть predetermined необходимостью. Случайным явлениям и событиям, как объективной категории, не отводится никакого места.

Предсказания *статистических законов* являются не определенными, а вероятностными. Но детерминизм не уходит из науки, а вышеназванный подход называется вероятностным детерминизмом – вероятностное прогнозирование объективных закономерностей на основе вероятностных законов. Это значит, что предсказать событие можно не однозначно, а с определенной степенью вероятности. Здесь

оперируют срединными величинами и усредненными значениями. Вероятность имеет объективный характер, это означает, что на фоне множества событий обнаруживается определенная закономерность, выражаемая определённым числом.

В философии давно выработано представление о диалектическом тождестве и различии противоположных сторон любого явления. В диалектике необходимое и случайное – это две противоположности единого явления, две стороны одной медали, которые взаимообуславливают друг друга, взаимопреобразуются, не существуют друг без друга. Главное различие между динамическими и статистическими законами с философско-методологической точки зрения состоит в том, что в статистических законах необходимость выступает в диалектической связи со случайностью, а в динамических – как абсолютная противоположность случайного. А отсюда вывод: «Динамические законы представляют собой первый низший этап в процессе познания окружающего нас мира; статистические законы обеспечивают более современное отображение объективных связей в природе: они выражают следующий, более высокий этап познания».

3.4. Релятивистская квантовая механика

Квантовая механика получила за короткое время интенсивное развитие и была обобщена до теории, описывающей поведение микроробъектов в микромире. Это оказалось возможным благодаря синтезу квантовой механики и специальной теории относительности, благодаря созданию релятивистской квантовой механики.

В 1927 году английский физик *П. Дирак*, рассматривая *уравнение Шредингера*, обратил внимание на его *нерелятивистский характер*. При этом квантовая механика описывает объекты микромира, и хотя к 1927 году их было известно только три: электрон, протон и фотон (даже нейтрон был экспериментально обнаружен только в 1932 году), было ясно, что движутся они со скоростями, весьма близкими к скорости света или равными ей, и более адекватное описание их поведения требует применения специальной теории относительности.

Дирак составил уравнение, которое описывало движение электрона с учетом законов и квантовой механики, и теории относительности Эйнштейна, и получил формулу для энергии электрона, которой удовлетворяли два решения: одно решение давало известный электрон с положительной энергией, другое – неизвестный электрон-двойник,

но с отрицательной энергией. Так возникло представление о *частицах* и соответствующих им *античастицах*, о мирах и антимирах.

К этому же времени была разработана квантовая электродинамика. Суть ее состоит в том, что поле больше не рассматривается как континуалистская непрерывная среда. Дирак применил к теории электромагнитного поля правила квантования, в результате чего получил дискретные значения поля. Обнаружение античастиц углубило представление о поле. Считалось, что электромагнитного поля нет, если нет квантов этого поля – фотонов. Следовательно, в этой области пространства должна быть пустота. Ведь специальная теория относительности «изгнала» из теории эфир, можно сказать, что победила точка зрения о вакууме, о пустоте.

Но пуст ли вакуум? Вот вопрос, который вновь возник в связи с открытием Дирака. Сейчас хорошо известны факты, доказывающие, что вакуум пуст только в среднем. В нем постоянно рождается и исчезает огромное количество виртуальных частиц и античастиц. Собственно, представление о вакууме как непрерывной активности содержащихся в нем виртуальных частиц содержится в принципе неопределенности Гейзенберга. Принцип неопределенности Гейзенберга имеет, кроме приведенного выше, еще и такое выражение:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h.$$

Согласно этому, квантовые эффекты могут на время нарушать закон сохранения энергии. В течение короткого времени Δt энергия, взятая как бы «взаймы», может расходоваться на рождение короткоживущих частиц, исчезающих при возвращении «займа» энергии. Это и есть виртуальные частицы. Возникая из «ничего», они снова возвращаются в «ничто». Так что вакуум в физике оказывается не пустым, а представляет собой море рождающихся и тут же гасящихся всплесков.

Квантовая теория поля является ядром всей современной физики, представляет собой общий подход ко всем известным типам взаимодействий. Одним из важнейших результатов ее является представление о вакууме, но уже не пустом, а насыщенном всевозможными флуктуациями всевозможных полей. Вакуум в квантовой теории поля определяется как наименьшее энергетическое состояние квантованного поля, энергия которого равна нулю только в среднем.

3.5. Классификация элементарных частиц

Исторически первыми экспериментально обнаруженными элементарными частицами были электрон, протон, а затем нейтрон. Однако вскоре выяснилось, что мир устроен значительно сложнее. Было установлено, что для каждой частицы имеется своя античастица, отличающаяся от нее лишь знаком зарядов; для частиц с нулевыми значениями всех зарядов античастица совпадает с частицей (пример – фотон). Далее, с развитием экспериментальной ядерной физики, к перечисленным частицам прибавилось еще свыше 300 частиц.

Элементарные частицы характеризуются своей массой, электрическим зарядом, собственным моментом количества движения – *спином*. Исходя из значения спина, все элементарные частицы можно разделить на две группы. Частицы с *полуцелым спином* называются *фермионами* (в честь известного физика Э. Ферми). Все эти частицы обладают свойством, имеющим характер закона – частицы с полуцелым спином могут находиться вместе лишь при условии, что их физические состояния (то есть вся совокупность характеризующих частиц параметров) не одинаковы. Этот закон в квантовой механике называется *запретом Паули*. Частицы с *целочисленным спином* называются *бозонами* (в честь другого крупного физика – Ш. Бозе). На них запрет Паули не распространяется, и они могут находиться вместе в любом количестве.

Поля фермионов всегда остаются квантованными, и в классическом пределе они переходят в частицы. Например, электрон, являющийся фермионом (его спин равен $1/2$), в классическом пределе выступает как истинная частица, хотя и обладает волновыми свойствами. То же относится к протону, нейтрону и всем другим частицам-фермионам. Поля же бозонов в пределе переходят в классические поля. Так, один из представителей бозонных частиц – фотон (его спин равен 1) – в пределе становится классическим электромагнитным полем (свет, радиоволны). Существование фермионов и бозонов создает важнейшую предпосылку для проявлений привычного нашего макромира, состоящего из атомного вещества (фермионы) и излучений (бозоны).

Зная, что все элементарные частицы являются либо бозонами, либо фермионами, можно попытаться ответить на вопрос об элементарных «кирпичиках» материи. Поиск самых простых частиц вещества привел исследователей к пониманию того, что абсолютной эле-

ментарности не существует, что частица любого уровня сложна в своей сущности и в своих проявлениях, она неотделима от других физических реальностей, в числе которых особая роль принадлежит физическому вакууму. Условно же принято считать элементарными те частицы, у которых сегодня не обнаружена внутренняя структура.

Известны три класса таких частиц: *лептоны, кварки и бозоны*. Лептоны и кварки относятся к фермионам. Класс *лептонов* состоит из шести частиц и шести античастиц (*электрон, мюон, тау-лептон* и три вида нейтрино). Каждому заряженному лептону отвечает нейтральная частица – нейтрино (*электронное, мюонное или тау*). Лептоны играют важную роль в структуре мира. Нейтральные лептоны участвуют только в слабом взаимодействии; заряженные – в слабом и электромагнитном.

Класс *кварков*, как и класс лептонов, содержит шесть частиц и столько же античастиц. Физики назвали каждый тип кварков *ароматом*. Этот термин, ассоциирующийся с обонянием, на самом деле обозначает квантовое число, приписываемое частицам данного типа. Ароматы обозначаются первыми буквами английских слов, принятых в качестве их названия: *up, down, strange, charmed, beauty, truth*. Кварки – электрически заряженные частицы. Но их заряды имеют дробные значения по отношению к заряду электрона, условно принимаемого за 1, и равны $\pm 1/3$ или $\pm 2/3$. Экспериментальные поиски дробного заряда оказались безуспешными, хотя точность измерений была доведена до исключительно высоких значений. Очевидно, существование в природе дробного электрического заряда возможно при условии, что такие заряды вместе со своими частицами-носителями образуют связанные объединения, в которых суммарный электрический заряд равен либо 0, либо ± 1 .

Также не удалось обнаружить ни один кварк в свободном состоянии, хотя эксперименты на ускорителях дают убедительные косвенные доказательства их реального существования в связанном состоянии. Кварки и антикварки группируются либо по две, либо по три частицы, образуя составные частицы, названные *адронами*. Кварки существуют только в таких составных частицах, вне их в современных условиях они существовать не могут, и это – принципиальное свойство вещества на данном микроуровне.

Составленные из кварков адроны подразделяются на три группы. Первая – *барионы* – образуется комбинациями из трех кварков. Эта группа включает протон и нейтрон – фундаментальную основу

атомных ядер. Вторую группу образуют частицы, получаемые путём сочетания кварка и антикварка. Они называются *мезонами*. Ещё одна группа содержит частицы, образуемые сочетаниями трёх антикварков. В неё попадают антипротон, то есть то, что составляет основу *антивещества*. Выше перечисленные частицы-адроны составляют лишь небольшую часть образующихся из кварков частиц. Большую часть их составляют так называемые *резонансы* – неустойчивые коротко живущие частицы, быстро распадающиеся на стабильные частицы. Адроны участвуют в сильном, слабом и электромагнитном взаимодействиях.

В описанной стройной схеме обнаруживается принципиальный дефект. Кварки, будучи фермионами, должны подчиняться запрету Паули и не могут соединяться вместе, если их состояния одинаковы. А в барионных и антибарионных частицах кварки одного аромата часто оказываются вместе. Например, протон образуется комбинацией кварков, записываемой так: uud , нейтрон – udd . Казалось бы, нарушается запрет Паули. Для устранения этого противоречия ввели предположение, что кварки одного аромата не идентичны, что они различаются характером взаимодействия друг с другом и поэтому для их описания ввели ещё одно квантовое число – *цвет*.

Взаимодействие цветовых зарядов осуществляют *глюоны*. Глюоны, обладая цветовым зарядом, взаимодействуют друг с другом. По-видимому, в этом лежит причина принципиально нового явления, называемого *конфайнментом*, или невылетанием кварков. Дело в том, что, несмотря на достаточно большие энергии частиц, ускоренных в современных ускорителях, кварки наблюдать в свободном состоянии не удается. Они, по-видимому, существуют в природе только в виде пар «кварк – антикварк» (qq), троек (qqq) или более сложных образований. При объединении кварков и антикварков в адроны должны выполняться два условия: суммарный электрический заряд кварков в адроне должен быть целочисленным; кварки, соединяющиеся в адрон, должны полностью компенсировать свои цветовые заряды и удовлетворять признаку *бесцветности*.

3.6. Основные физические взаимодействия

Известны четыре основных физических взаимодействия, которые определяют структуру нашего мира: сильные, слабые, электромагнитные и гравитационные.

1. *Сильные взаимодействия* происходят на уровне атомных ядер и представляют собой взаимное притяжение их взаимных частей. Действуют на расстояниях примерно 10^{-13} см. Одно из проявлений сильных взаимодействий – *ядерные силы*. Сильные взаимодействия открыты Э. Резерфордом в 1911 году одновременно с открытием атомного ядра. Переносчиками сильных взаимодействий являются *глюоны*. Ядерные силы не зависят от заряда частиц. В сильных взаимодействиях величина заряда сохраняется.

2. *Электромагнитное взаимодействие* в 100-1000 раз слабее сильного взаимодействия, но более дальнodelствующее. Свойственно электрически заряженным частицам. Носителем электромагнитного взаимодействия является не имеющий заряда *фотон* – квант электромагнитного поля. В процессе электромагнитного взаимодействия электроны и атомные ядра соединяются в атомы, атомы – в молекулы. Электромагнитное взаимодействие связано с электрическими и магнитными полями. Электрическое поле возникает при наличии электрических зарядов, а магнитное поле – при их движении. Различные агрегатные состояния вещества, явление трения, упругие и другие свойства вещества определяются, преимущественно, силами межмолекулярного взаимодействия, которое по своей природе является электромагнитным. Электромагнитное взаимодействие описывается фундаментальными законами электростатики и электродинамики: законом Кулона, законом Ампера и др. Его наиболее общее описание дает электромагнитная теория Максвелла, основанная на фундаментальных уравнениях, связывающих электрическое и магнитное поля.

3. *Слабые взаимодействия* слабее электромагнитного. Радиус его действия $10^{-15} - 10^{-22}$ см. Слабое взаимодействие связано с распадом частиц, например, с происходящими в ядре превращениями протона в нейтрон, позитрон и нейтрино. Испускаемое нейтрино обладает огромной проникающей способностью – оно проходит через железную плиту толщиной миллиард километров. При слабых взаимодействиях меняется заряд частиц. Слабое взаимодействие представляет собой не контактное взаимодействие, а осуществляется путем обмена промежуточными тяжелыми частицами – *бозонами*.

4. *Гравитационное взаимодействие* характерно для всех материальных объектов вне зависимости от их природы. Оно заключается во взаимном притяжении тел и определяется фундаментальным законом всемирного тяготения: между двумя точечными телами действует сила притяжения, прямо пропорциональная произведению их масс и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними. Гра-

витационным взаимодействием определяется падение тел в поле сил тяготения Земли. Законом всемирного тяготения описывается, например, движение планет Солнечной системы и различных макрообъектов. Предполагается, что гравитационное взаимодействие обуславливается некими элементарными частицами – *гравитонами*, существование которых к настоящему времени экспериментально не подтверждено.

Гравитационное взаимодействие во много раз слабее электромагнитного. Оно не учитывается в теории элементарных частиц, поскольку на характерных для них расстояниях порядка 10^{-13} см дает чрезвычайно малые эффекты. Однако на ультрамалых расстояниях (10^{-33} см) и при ультрабольших энергиях гравитация вновь приобретает существенное значение. Сверхтяжелые виртуальные частицы создают вокруг себя заметное гравитационное поле, которое искажает геометрию пространства. В космических масштабах гравитационное взаимодействие имеет решающее значение. Радиус его действия не ограничен.

От силы взаимодействия зависит время, в течение которого совершается превращение элементарных частиц. Ядерные реакции, связанные с сильными взаимодействиями, происходят в течение 10^{-24} – 10^{-23} с. Это приблизительно тот кратчайший интервал времени, за который частица, ускоренная до высоких энергий, до скорости, близкой скорости света, проходит через элементарную частицу размером порядка 10^{-13} см. Изменения, обусловленные электромагнитными взаимодействиями, осуществляются в течение 10^{-19} – 10^{-21} с, а слабыми (например, распад элементарных частиц) – в основном 10^{-10} с.

Все четыре взаимодействия необходимы и достаточны для построения разнообразного мира. Без сильных взаимодействий не существовали бы атомные ядра. Без электромагнитных взаимодействий не было бы ни атомов, ни молекул, ни макроскопических объектов, а также тепла и света. Без слабых взаимодействий не были бы возможны ядерные реакции в недрах Солнца и звезд, не происходили бы вспышки сверхновых звезд и необходимые для жизни тяжелые элементы не могли бы распространиться во Вселенной. Без гравитационного взаимодействия не только не было бы галактик, звезд, планет, но и вся Вселенная не могла бы эволюционировать, поскольку гравитация является объединяющим фактором, обеспечивающим единство Вселенной как целого и ее эволюцию.

Современная физика пришла к выводу, что все четыре фундаментальных взаимодействия, необходимые для создания из элемен-

тарных частиц сложного и разнообразного материального мира, можно получить из одного фундаментального взаимодействия – суперсилы. Наиболее ярким достижением стало доказательство того, что при очень высоких температурах (или энергиях) все четыре взаимодействия объединяются в одно. При энергии в 100 ГэВ объединяются электромагнитное и слабое взаимодействия. Такая температура соответствует температуре Вселенной через 10^{-10} с после Большого взрыва. При энергии 10^{15} ГэВ к ним присоединяется сильное взаимодействие, а при энергии 10^{19} ГэВ происходит объединение всех четырех взаимодействий.

Это предположение носит чисто теоретический характер, поскольку экспериментальным путем его проверить невозможно. Косвенно эти идеи подтверждаются астрофизическими данными, которые можно рассматривать как экспериментальный материал, накопленный Вселенной.

3.7. Эволюция представлений о строении атомов

Представление об атомах как неделимых мельчайших частицах веществ возникло еще в античные времена (*Демокрит, Эпикур, Лукреций*). В средние века учение об атомах, будучи материалистическим, не получило признания. К концу XVIII в. *атомистическая теория* приобретает все большую популярность. К этому времени работами французского химика *А. Лавуазье*, великого русского ученого *М. В. Ломоносова* и английского химика и физика *Д. Дальтона* была доказана реальность существования атомов. До конца XIX века господствовало убеждение, что атомы – предел делимости материи. В конце XIX века появился ряд доказательств о сложной структуре атомов.

В 1897 году *Дж. Томпсон* открыл электроны и предложил первую модель атома, представив атом как положительно заряженный сгусток материи, в который вкраплено столько электронов, что превращает его в электрически нейтральное образование (рис. 2). Положительно заряженных частиц внутри атома модель Томсона не предполагала. После открытия испускания положительно заряженных альфа-частиц радиоактивными веществами его модель была признана неверной.

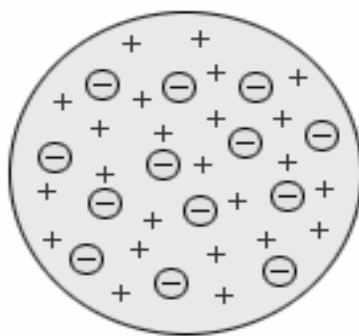


Рис. 2. Модель атома Дж. Томпсона

В 1911 г. английским физиком *Э. Резерфордом* при исследовании движения альфа-частиц в газах и других веществах была обнаружена положительно заряженная часть атома. При прохождении пучка параллельных лучей сквозь слой газа или тонкую металлическую пластинку происходит рассеяние альфа-частиц, то есть отклонение их от первоначального пути. Углы отклонения невелики, но всегда имеется небольшое число частиц (примерно одна из нескольких тысяч), которые отклоняются очень сильно. Некоторые частицы отбрасываются назад, как если бы на пути встретилась непроницаемая преграда. Исходя из этих опытов, Резерфорд предложил следующую схему строения атома.

В центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого по разным орбитам вращаются электроны. Возникающая при их вращении центробежная сила уравнивается притяжением между ядром и электронами, вследствие чего они остаются на определенных расстояниях от ядра. Поскольку масса электрона ничтожна мала, то почти вся масса атома сосредоточена в его ядре. На долю ядра и электронов, число которых сравнительно невелико, приходится лишь ничтожная часть всего пространства, занятого атомной системой.

Предложенная Резерфордом *планетарная модель атома* (рис. 3), легко объясняет явления отклонения альфа-частиц. Действительно, размеры ядра и электронов чрезвычайно малы по сравнению с размерами всего атома, которые определяются орбитами наиболее удаленных от ядра электронов, поэтому большинство альфа-частиц пролетает через атомы без заметного отклонения. Только в тех случаях, когда альфа-частица очень близко подходит к ядру, электрическое отталкивание вызывает резкое отклонение ее от первоначального пути (рис. 4). Таким образом, изучение рассеяния альфа-частиц положило начало ядерной теории атома.

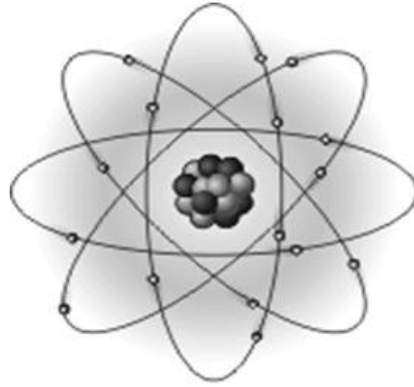


Рис. 3. Планетарная модель атома

Планетарная модель атома не объясняла устойчивости атомов. Движение по окружности даже с постоянной скоростью обладает ускорением. Такое ускоренное движение заряда эквивалентно переменному току, который создает в пространстве переменное электромагнитное поле. На создание этого поля расходуется энергия. Энергия поля может создаваться за счет энергии кулоновского взаимодействия электрона с ядром. В результате электрон должен двигаться по спирали и упасть на ядро. Однако опыт показывает, что атомы – очень устойчивые образования. Отсюда следует вывод, что результаты классической электродинамики, основанной на уравнениях Максвелла, неприменимы к внутриатомным процессам. Необходимо найти новые закономерности.

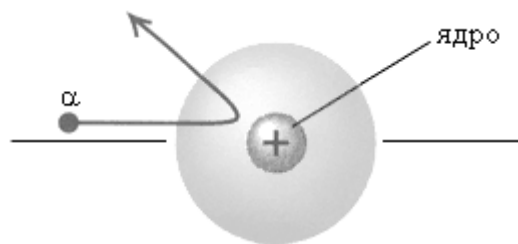


Рис. 4. Рассеяние альфа-частиц в опыте Резерфорда

Первая попытка построить качественно новую – *квантовую* – теорию атома была предпринята в 1913 г. *Н. Бором*. Он поставил цель связать в единое целое эмпирические закономерности линейчатых спектров и ядерную модель атома Резерфорда. В основу своей теории атома Бор положил следующие постулаты.

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся

электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн. Этот постулат находится в противоречии с классической теорией. В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные квантовые значения момента импульса.

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией $h\nu = E_n - E_m$, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний.

При $E_n > E_m$ происходит излучение фотона (переход атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, то есть переход электрона с более удаленной от ядра орбиты на более близлежащую), при $E_n < E_m$ – его поглощение (переход атома в состояние с большей энергией, то есть переход электрона на более удаленную от ядра орбиту). Набор возможных дискретных частот квантовых переходов и определяет линейчатый спектр атома (рис. 5).

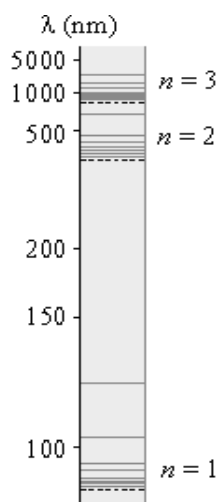


Рис. 5. Линейчатый спектр атома водорода

Теория Бора блестяще объяснила экспериментально наблюдаемый линейчатый спектр водорода. Относительно атома гелия и более сложных атомов теория Бора позволила делать лишь качественные (хотя и очень важные) заключения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие факты подтверждают волновую концепцию света? Корпускулярную?
2. Для каких материальных объектов характерен корпускулярно-волновой дуализм?

3. Сформулируйте соотношение неопределенностей. Каково его значение в исследовании объектов микромира?

4. Сформулируйте принцип тождественности. Применим ли он в классической механике?

5. В чем заключается отличие динамических законов от статистических?

6. Чем объясняется эффект конфайнмента кварков?

7. Расположите основные физические взаимодействия по величине относительной интенсивности от меньшего к большему.

ГЛАВА 4. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОПИСАНИЯ МЕГАМИРА

4.1. Происхождение и эволюция Вселенной

Понятие «Вселенная» обозначает весь существующий материальный мир. Строение и эволюция Вселенной изучаются *космологией*.

Все современные космологические модели базируются на *космологическом уравнении Эйнштейна*, которое описывает пространственно-временную геометрию Вселенной. При выводе этого уравнения Эйнштейн ввел следующие космологические постулаты (предположения):

1) *постулат однородности* Вселенной – означает равномерность распределения вещества (одинаковость плотности материи);

2) *постулат изотропности* Вселенной – означает, что физические свойства пространства одинаковы по всем направлениям;

3) *постулат стационарности* Вселенной – предполагает неизменность во времени массы, плотности и объема Вселенной.

Такой взгляд на Вселенную был характерен для начала XX века. Однако впоследствии выяснилось, что один из постулатов Эйнштейна – постулат стационарности – был ошибочен.

В 1922 г. русский математик и геофизик *А. А. Фридман* отбросил постулат классической космологии о стационарности Вселенной и получил решение уравнений Эйнштейна, описывающее Вселенную с расширяющимся пространством. Решение уравнений *А. А. Фридмана* допускает три возможности. Если средняя плотность вещества и излучения во Вселенной равна некоторой критической величине, мировое пространство оказывается *евклидовым* и Вселенная неограниченно расширяется от первоначального точечного состояния. Если плотность меньше критической, пространство обладает *геометрией Лобачевского* и также неограниченно расширяется. И, наконец, если плот-

ность больше критической, пространство Вселенной оказывается *римановым*, расширение на некотором этапе сменяется сжатием, которое продолжается вплоть до первоначального точечного состояния. Поскольку средняя плотность вещества во Вселенной неизвестна, то сегодня мы не знаем, в каком из этих пространств Вселенной мы живем.

В 1929 г. произошло экспериментальное подтверждение факта нестационарности Вселенной: американский астроном Э. Хаббл обнаружил смещение спектральных линий в спектрах всех наблюдаемых галактик (*красное смещение*); в силу эффекта Доплера это свидетельствует об удалении всех галактик от нашей галактики (*явление «разбегания галактик»*). Эффект Доплера состоит в том, что частота излучения, измеряемая наблюдателем, зависит от скорости источника излучения волн. Если источник приближается, то его спектр смещается для наблюдателя в сторону коротких волн («фиолетовое смещение»), если удаляется – в сторону длинных волн («красное смещение»).

В основе современных представлений об эволюции Вселенной лежит *модель горячей Вселенной*, или *Большого взрыва*, основы которой были заложены в трудах американского физика русского происхождения Дж. Гамова и его сотрудников в конце 40-х гг. XX в. В соответствии с этой концепцией Вселенная на ранних стадиях расширения характеризовалась не только высокой плотностью вещества, но и его высокой температурой.

В простейшем варианте теории горячей Вселенной предполагается, что Вселенная возникла спонтанно в результате взрыва из состояния с очень большой плотностью и энергией (*состояние сингулярности*). В состоянии сингулярности Вселенная представляла частицу с плотностью 10^{93} г/см³ и температурой 10^{27} К.

Модель горячей Вселенной получила экспериментальное подтверждение после открытия в 1965 г. *реликтового излучения* – микроволнового фонового излучения с температурой около 3 К. Оно не генерируется современными космическими телами, а отражает прошлое состояние Вселенной. Распространяясь повсеместно с одинаковой интенсивностью, реликтовое излучение доказывает, что расширение Вселенной происходит одинаково во все стороны.

Важнейшая научная проблема связана с причинами Большого Взрыва, сложившимися в первые мгновения Вселенной. Они моделируются так называемой *гипотезой инфляционной Вселенной*. В основе этой гипотезы – представление о существовании компенсирующей

гравитационное притяжение силы космического отталкивания невероятной величины, которая смогла разорвать некое начальное состояние материи и вызвать ее расширение, продолжающееся по сей день. В этой модели начальное состояние Вселенной является вакуумным.

Физический вакуум – это наинизшее энергетическое состояние всех полей, форма материи, лишённая вещества и излучения, но характеризующаяся активностью, возникновением и уничтожением виртуальных частиц. Возбужденное состояние такого вакуума называют «*ложным вакуумом*», который способен создать гигантскую силу космического отталкивания. Эта сила и вызвала безудержное и стремительное раздувание зародышей одной или нескольких вселенных, в которых концентрированы колоссальные запасы энергии. Скорость раздувания значительно превосходила световую. Данный тип раздувания был назван *инфляцией*.

В конце фазы инфляции Вселенная была пустой и холодной. Но по окончании фазы огромные запасы энергии, сосредоточенные в исходном физическом вакууме, высвободились в виде излучения, которое мгновенно нагрело Вселенную. С этого момента начинается эволюция горячей Вселенной. Благодаря энергии возникли *вещество и антивещество*. По мере остывания Вселенной антивещество аннигилировало с веществом и при этом почти все вещество исчезало. Поскольку имелся избыток вещества над антивеществом в одну частицу на миллиард, наш мир построен в основном из вещества. Если бы этого остатка не было, то мир был бы практически пустым, то есть заполнен только полем, но не веществом.

4.2. Эволюция галактик и звезд

Совокупность звездных систем (галактик) называется *Метагалактикой*. Метагалактика – наблюдаемая часть Вселенной. Согласно современным представлениям, для Метагалактики характерна ячеистая (сетчатая, пористая) структура. Эти представления основываются на данных астрономических наблюдений, показавших, что галактики распределены не равномерно, а сосредоточены вблизи границ ячеек, внутри которых галактик почти нет.

Галактика – гигантская система, состоящая из скоплений звезд и туманностей, образующих в пространстве достаточно сложную конфигурацию. По форме галактики условно разделяются на три типа: эллиптические, спиральные и неправильные. *Эллиптические га-*

лактики обладают пространственной формой эллипсоида с разной степенью сжатия. Они являются наиболее простыми по структуре: распределение звезд равномерно убывает от центра. *Спиральные галактики* представлены в форме спирали, включая спиральные ветви. Это самый многочисленный вид галактик, к которому относится и наша Галактика – Млечный путь (рис. 6). *Неправильные галактики* не обладают выраженной формой, в них отсутствует центральное ядро.

В строении правильных галактик очень упрощенно можно выделить центральное ядро и сферическую периферию, представленную либо в форме огромных спиральных ветвей, либо в форме эллиптического диска, включающих наиболее горячие и яркие звезды и массивные газовые облака. В ядре галактики сосредоточены самые старые звезды, возраст которых приближается к возрасту галактики. Звезды среднего и молодого возраста расположены в диске галактики.



Рис. 6. Галактика Млечный путь (модель)

Все небесные тела можно разделить на *испускающие энергию* – звезды – и *неиспускающие* – планеты, кометы, метеориты, космическую пыль. Высокая светимость звезд, поддерживаемая в течение длительного времени, свидетельствует о выделении в них огромных количеств энергии. Современная физика указывает на *два возможных источника энергии*: *гравитационное сжатие*, приводящее к выделению гравитационной энергии, и *термоядерные реакции*, в результате которых из ядер легких элементов синтезируются ядра более тяжелых элементов и выделяется большое количество энергии.

Эволюция звезды осуществляется следующим образом. По некоторым причинам начинает конденсироваться облако межзвездной газопылевой среды. Потом под влиянием сил всемирного тяготения из этого облака образуется сравнительно плотный газовый шар (*протозвезда*), который пока нельзя назвать звездой, так как в его центральных областях температура ещё недостаточна для того, чтобы могли начаться термоядерные реакции. Протозвезда продолжает сжиматься, вследствие чего температура её повышается, а размеры уменьшаются. Наконец, температура звёздных недр оказывается достаточной для того, чтобы там начались термоядерные реакции. При этом давление газа внутри будущей звезды уравнивает притяжение, и газовый шар перестаёт сжиматься. Протозвезда становится звездой.

Скорость развития звезды зависит от процессов превращения водорода в гелий при термоядерных реакциях в центральных областях звезды. После выгорания водорода в центральной зоне у звезды образуется *гелиевое ядро*. Водородные термоядерные реакции продолжают протекать, но только в тонком слое вблизи поверхности этого ядра. Выгоревшее ядро начинает сжиматься, а внешняя оболочка — расширяться. Звезда принимает гетерогенную структуру. Оболочка разбухает до колоссальных размеров, внешняя температура становится низкой, и звезда переходит в стадию *красного гиганта*.

Для красного гиганта характерна низкая внешняя температура, но очень высокая внутренняя. С ее повышением в термоядерные реакции включаются все более тяжелые ядра. На этом этапе (при температуре свыше 150 млн. К) в ходе ядерных реакций осуществляется синтез химических элементов. В результате роста давления, пульсаций и других процессов красный гигант непрерывно теряет вещество, которое выбрасывается в межзвездное пространство.

При массе менее *1,4 массы Солнца* звезда переходит в стационарное состояние с очень большой плотностью (сотни тонн на 1 см^3). Такие звезды называются *белыми карликами*. Тепловые запасы звезды постепенно истощаются, и звезда медленно охлаждается, что сопровождается выбросами оболочки звезды. Молодые белые карлики, окруженные остатками оболочки, наблюдаются как планетарные туманности. Белый карлик как бы вызревает внутри красного гиганта и появляется на свет, когда красный гигант сбрасывает свои поверхностные слои, образуя планетарную туманность.

Когда энергия звезды иссякнет, звезда изменяет свой цвет от белого к желтому, затем к красному; наконец, она перестанет излучать и начнет непрерывное путешествие в необозримом космическом пространстве в виде маленького темного безжизненного объекта. Так белый карлик медленно превращается в *черный карлик* – мертвую холодную звезду, размер которой обычно меньше размеров Земли, а масса сравнима с солнечной. Плотность такой звезды в миллиарды раз выше плотности воды. Так заканчивают свое существование большинство звезд.

При массе *более 1,4 массы* Солнца стационарное состояние звезды без внутренних источников энергии становится невозможным, происходит мощный взрыв – вспышка *сверхновой звезды* с выбросом значительной части вещества звезды в окружающее пространство с образованием газовых туманностей.

Часть массы взорвавшейся сверхновой звезды может остаться в виде сверхплотного тела – *нейтронной звезды* или *черной дыры*.

Открытые в 1967 г. новые объекты – *пульсары* – отождествляются с теоретически предсказанными нейтронными звездами. Плотность нейтронной звезды очень высока, выше плотности атомных ядер – 10^{15} г/см. Температура такой звезды около 1 млрд. градусов. Но нейтронные звезды очень быстро остывают, светимость их слабеет. Зато они интенсивно излучают радиоволны в виде повторяющихся импульсов. Поэтому нейтронные звезды называют пульсарами

Если конечная масса белого карлика превышает *2-3 массы Солнца*, то гравитационное сжатие непосредственно ведет к образованию черной дыры. *Черная дыра* – область пространства, в которой поле тяготения настолько сильно, что из черной дыры ничто не может вылететь: ни излучение, ни частицы. Изучение свойств черных дыр (Я. Б. Зельдович, С. Хокинг и др.) показывает, что в некоторых случаях они могут «испаряться». Этот механизм связан с тем, что в сильном поле тяготения черной дыры вакуум (физические поля в самом низком энергетическом состоянии) неустойчив и может рождать частицы (фотоны, нейтрино и др.), которые, улетая, уносят энергию черной дыры. Вследствие этого черная дыра теряет энергию, уменьшаются ее масса и размеры.

4.3. Происхождение Солнечной системы

Солнечная система состоит из 9 планет: Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона (рис. 7). Все планеты движутся в одном направлении, в единой плоскости (за исключением Плутона) по почти круговым орбитам. От центра до окраины Солнечной системы (до Плутона) – 5,5 световых часов. Расстояние от Солнца до Земли – 149 млн. км, что составляет 107 его диаметров. Солнечная система совершает один полный оборот вокруг галактического центра за 180 млн. лет. Скорость движения Солнца вокруг оси галактики – 250 км/сек. Ближайшие к Солнцу звезды – α -Центавра и Сириус.

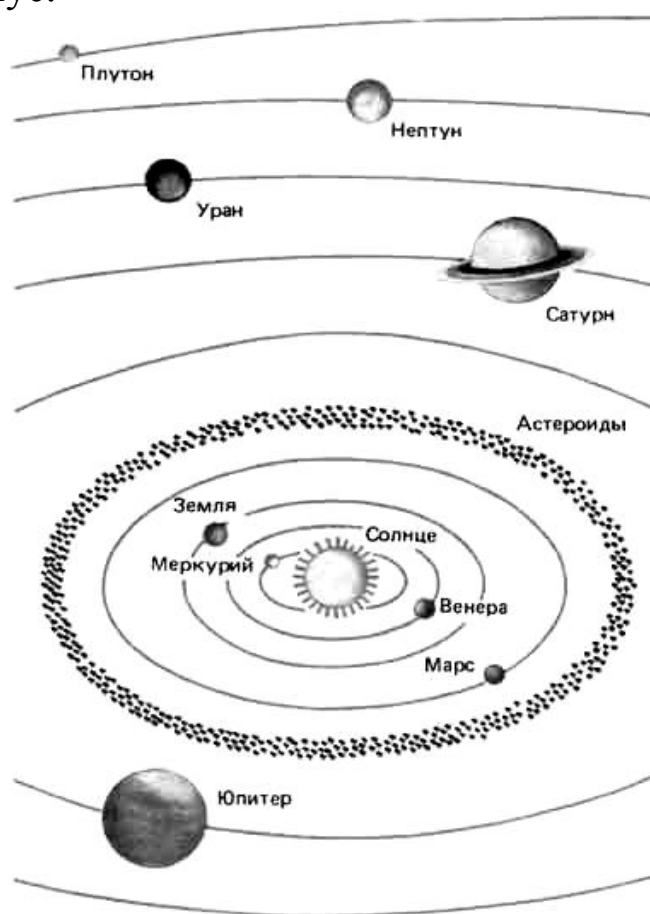


Рис. 7. Строение Солнечной системы

Возраст солнечной системы, зафиксированный по древнейшим метеоритам, около 5 млрд. лет. Общепринята гипотеза, по которой Земля и все планеты сконденсировались из космической пыли, расположенной в окрестностях Солнца.

Первая серьезная попытка объяснить происхождение планет Солнечной системы и Земли с научной точки зрения была сделана

французским математиком *П. Лапласом* в 1796 г., хотя несколько раньше *Т. Рейн* в Англии и *И. Кант* в Германии предложили свои гипотезы. Кант считал, что планеты образовались из пылевой туманности, состоящей из твердых частиц. Согласно теории Лапласа, планеты сформировались из вращающегося газового облака, спрессованного под действием собственной гравитации. По мере сжатия облако сбрасывало многочисленные кольца, каждое из которых конденсировалось в планету. Так как гипотезы почти не противоречили друг другу, они были объединены в одну под названием *гипотезы Канта – Лапласа*. Эта гипотеза господствовала в науке в течение всего XIX века и дожила до первых десятилетий XX в.

В начале XX в. получила известность *гипотеза* английского астронома *Дж. Джинса*. Согласно его гипотезе, мимо Солнца прошла когда-то более крупная звезда. Вследствие ее притяжения на Солнце вырвалась громадная струя раскаленного вещества (протуберанец), образовавшая туманность с отдельными сгущениями. Из этих сгущений впоследствии образовались планеты, вращающиеся вокруг Солнца. В 30-х годах была доказана математическая несостоятельность этой гипотезы.

Из гипотез происхождения Солнечной системы также известна электромагнитная *гипотеза* шведского астрофизика *Х. Альвена*, усовершенствованная *Ф. Хойлом*. Альвен исходил из предположения, что некогда Солнце обладало очень сильным электромагнитным полем. Туманность, окружавшая светило, состояла из нейтральных атомов. Под действием излучений и столкновений атомы ионизировались. Ионы попадали в ловушки из магнитных силовых линий и увлекались вслед за вращающимся светилом. Постепенно Солнце теряло свой вращательный момент, передавая его газовому облаку.

Слабость предложенной гипотезы заключалась в том, что атомы наиболее легких элементов должны были ионизироваться ближе к Солнцу, атомы тяжелых элементов – дальше. Значит, ближайšie к Солнцу планеты должны были бы состоять из наилегчайших элементов – водорода и гелия, а более отдаленные – из железа и никеля. Наблюдения говорят об обратном.

Чтобы преодолеть эту трудность, английский астроном *Ф. Хойл* предложил новый вариант гипотезы. Солнце зародилось в недрах туманности. Оно быстро вращалось, и туманность становилась все более плоской, превращаясь в диск. Постепенно диск начинал тоже разгоняться, а Солнце тормозилось. Момент количества движения переходил к диску. Затем в нем образовались планеты.

Согласно *концепции О. Ю. Шмидта*, Солнечная система образовалась из скопления межзвездной материи, захваченной Солнцем в процессе движения в мировом пространстве. Солнце движется вокруг центра Галактики, совершая полный оборот за 180 млн. лет. Среди звезд Галактики имеются большие скопления газовой-пылевой туманностей. Исходя из этого, О. Ю. Шмидт полагал, что Солнце при движении вступило в одно из таких облаков и захватило его с собой. Силой своего притяжения Солнце заставило облако вращаться вокруг себя. Шмидт полагал, что первоначальное облако межзвездной пылевой материи обладало некоторым вращением, в противном случае его частицы выпали бы на Солнце.

В процессе обращения облака вокруг Солнца мелкие частицы сосредоточивались в экваториальной части. Облако превращалось в плоский уплотненный вращающийся диск, в котором вследствие увеличения взаимного притяжения частиц происходило сгущение. Образовавшиеся сгущения (тела) росли за счет присоединяющихся к ним более мелких частиц как снежный ком. Таким путем образовались планеты и обращающиеся вокруг них спутники.

Земля, по мнению О. Ю. Шмидта, также образовалась из холодных твердых частиц. Постепенное разогревание недр Земли произошло за счет энергии радиоактивного распада, что привело к выделению воды и газа, входивших в небольших количествах в состав твердых частиц. В результате возникли атмосфера и океаны, обусловившие появление жизни на Земле.

4.4. Антропный принцип

Попыткой ответа на вопрос, что же объясняет существование сложной структуры Вселенной, стало применение *антропного принципа*, согласно которому наша Вселенная обладает наблюдательными свойствами именно потому, что эти свойства допускают возможность существования наблюдателя, то есть человека.

Антропный принцип впервые в 1958 г. был предположен нашим соотечественником *Г. Идлисом* и затем *Б. Картером* в 1974 г., но в неявном виде он уже функционировал и раньше в виде антропоморфизма. Этот принцип применяется в слабом и сильном вариантах.

Слабый антропный принцип. На свойства Вселенной накладываются ограничения наличием нашей разумной жизни. То, что наблюдают астрономы, зависит от присутствия наблюдателя.

Сильный антропный принцип. Свойства Вселенной должны быть такими, чтобы в ней обязательно была жизнь.

Согласно этим принципам, между фундаментальными свойствами Вселенной и возможностью существования в ней жизни установлены строго определенные отношения. Фундаментальные свойства мира количественно выражаются через фундаментальные постоянные, и при их незначительном изменении может сильно измениться сценарий развития Вселенной и самой жизни во Вселенной. Таким образом, антропный принцип по сути превращает факт появления человека во Вселенной из случайного, незначительного, в центральный, приоритетный. Согласно антропному принципу, «любая физическая теория, которая противоречит существованию человека, очевидно, не верна».

Заметим также, что антропный принцип не отвергает возможности существования других Вселенных. Однако эволюция может происходить без наблюдателей, и, следовательно, жизнь в нашем понимании в них невозможна. При использовании антропного принципа появляется возможность моделировать другие допустимые Вселенные, что, с точки зрения современной физики, доказывает существование множества миров.

Кроме того, антропный принцип приводит к мировоззренческим уточнениям не только по множественности обитаемых Вселенных, но и по множественности существования жизни в нашей Вселенной. Наша Вселенная чрезвычайно тонко приспособлена для возникновения и существования жизни. Можно было бы подумать, что это относится к отдельной, достаточно крупной, но все же локальной области Вселенной, где в силу случайной флуктуации создались условия, необходимые для существования жизни. Но, как мы уже говорили, предполагается, что Вселенная однородна и изотропна, то есть ее свойства в больших масштабах одинаковы.

Следовательно, когда мы говорим о чрезвычайно тонкой приспособленности Вселенной для жизни, речь идет не о локальных областях, а обо всей Вселенной в целом. Таким образом, применение антропного принципа приводит к выводу о закономерном возникновении и широкой распространенности жизни и разума во Вселенной. Антропный принцип, с точки зрения физики и философии, отвергает возможность уникальности земной жизни.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите теоретические и экспериментальные доказательства нестационарности Вселенной.
2. В чем заключается суть гипотезы инфляционной Вселенной?
3. Приведите классификацию галактик по форме. К какому типу галактик относится Млечный путь?
4. Приведите схему эволюции звезд.
5. Какие концепции объясняют происхождение планет Солнечной системы?
6. В чем заключается антропный принцип?

ГЛАВА 5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОСИСТЕМ

5.1. Основные положения равновесной термодинамики

Тепловые явления и свойства макросистем исследуются с помощью *термодинамического* и *молекулярно-кинетического (статистического)* методов. *Молекулярно-кинетическая теория* – теория поведения больших общностей атомов и молекул. Поведение молекул анализируется с помощью статистического метода. Он основан на том, что свойства макроскопической системы определяются свойствами частиц, особенностями их движения и усредненными значениями кинетических и динамических характеристик (скорости, энергии и т. д.).

Основные положения молекулярно-кинетической теории:

1. Любое тело (твердое, жидкое, газообразное) состоит из большого числа молекул или атомов.
2. Молекулы всякого вещества находятся в беспорядочном, хаотическом, не имеющем преимущественного направления, движении.
3. Интенсивность движения, определяемая скоростью, зависит от температуры вещества.

Термодинамика, изучая тепловые явления, не учитывает молекулярное строение тел. В термодинамике тепловые явления описываются с помощью величин, регистрируемых приборами (температура, давление, удельный объем).

Всякая термодинамическая система обладает внутренней энергией – энергией теплового движения молекул и потенциальной энергией их взаимодействия. Имеется два способа изменения внутренней энергии термодинамической системы при ее взаимодействии с внеш-

ними телами: совершение работы и теплообмен. В этом заключается первое начало термодинамики.

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам): при сообщении термодинамической системе определенного количества теплоты в общем случае происходит приращение внутренней энергии системы, и она совершает работу против внешних сил.

Количество теплоты ΔQ , сообщенное телу, идет на увеличение его внутренней энергии ΔU и на совершение телом работы ΔA :

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

Из первого начала термодинамики следует важный вывод: *невозможен вечный двигатель первого рода*, то есть двигатель, который бы совершал работу без внешнего источника энергии. При наличии внешнего источника часть энергии неизбежно переходит в энергию теплового движения молекул, то есть нельзя полностью превратить внешнюю энергию в полезную работу.

Опыты показывают, что термодинамические процессы необратимы. Если привести в соприкосновение два нагретых тела, то более нагретое будет отдавать энергию менее нагретому. Обратный процесс невозможен. Это происходит потому, что всякая система стремится к *термодинамическому равновесию*, в котором тела находятся в состоянии покоя по отношению друг к другу, обладая одинаковыми температурами и давлением. Достигнув этого состояния, система сама из него выйти не может, значит, термодинамические процессы, приближающиеся к равновесию, необратимы.

За счет энергии тел, находящихся в термодинамическом равновесии, невозможно произвести работу. Это утверждение составляет суть *второго начала термодинамики*. Существуют разные формулировки второго начала термодинамики:

– невозможен переход теплоты от тела более холодного к телу, более нагретому, без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде (*Р. Клаузиус*);

– невозможно создать периодически действующую, то есть совершающую какой-либо термодинамический цикл, машину, вся работа которой сводилась бы к поднятию некоторого груза (механической работе) и соответствующему охлаждению теплового резервуара (*В. Томсон, М. Планк*);

– невозможно построить вечный двигатель второго рода, то есть тепловую машину, которая в результате совершения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от какого-

либо одного «неисчерпаемого» источника (океана, атмосферы и т. д.) в работу (В. Оствальд).

Для распространения второго начала термодинамики на другие необратимые процессы было введено понятие *энтропии* как меры беспорядка. Система, находящаяся в состоянии равновесия, имеет максимальную энтропию. Понятие энтропии связывают и с понятием информации. Система, находящаяся в упорядоченном состоянии, содержит много информации, а неупорядоченная система содержит мало информации. Так, например, текст книги содержит много информации, а случайный набор букв не несет информации. Информацию поэтому и отождествляют с отрицательной энтропией (или негэнтропией). При росте энтропии информация уменьшается.

Второе начало термодинамики – *закон возрастания энтропии*: в замкнутой (то есть изолированной в тепловом и механическом отношении) системе энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (при неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума ($\Delta S \geq 0$).

Во всякой изолированной системе тепловые процессы однонаправлены, что и приводит к увеличению энтропии. Стоит энтропии достигнуть максимума, как тепловые процессы в такой системе прекращаются, что означает принятие всеми телами системы одинаковой температуры и превращение всех форм энергии в тепловую.

В середине XIX века активно обсуждалась проблема тепловой смерти Вселенной. Р. Ю. Клаузиус рассматривал Вселенную как замкнутую систему и считал, что она должна достигнуть своего максимума, то есть со временем все формы движения должны перейти в тепловые – «тепловая смерть Вселенной». Ошибочность этого вывода заключается в том, что нельзя применять второе начало термодинамики к незамкнутым системам, например, к безграничной и развивающейся Вселенной.

Некоторые ученые считали, что второе начало имеет ограниченную область применения. Максвелл считал второе начало термодинамики справедливым, пока мы имеем дело с телами, обладающими большой массой, когда нет возможности различать в этих массах отдельные молекулы и работать с ними. Он предложил проделать мысленный эксперимент – представить себе существо, способное следить за каждой молекулой во всех ее движениях, и разделить какой-либо сосуд на две части перегородкой с маленьким отверстием в ней. Это

существо (названное «демоном Максвелла»), способное различать отдельные молекулы, будет попеременно то открывать, то закрывать отверстие таким образом, чтобы быстро движущиеся молекулы могли переходить в другую половину. В этом случае «демон Максвелла» без затраты работы смог бы повысить температуру в первой половине сосуда и понизить во второй вопреки второму началу термодинамики.

Третье начало термодинамики (теорема Нернста): энтропия физической системы при стремлении температуры к абсолютному нулю не зависит от параметров системы и остается неизменной. Другие формулировки теоремы: при стремлении температуры к абсолютному нулю все изменения состояния системы не изменяют ее энтропии; при помощи конечной последовательности термодинамических процессов нельзя достичь температуры абсолютного нуля. М. Планк дополнил теорему гипотезой, согласно которой энтропия всех тел при абсолютном нуле температуры равна нулю. Из теоремы вытекают важные следствия о свойствах веществ при температурах, близких к абсолютному нулю: приобретают нулевое значение удельные теплоемкости при постоянных объеме и давлении, термический коэффициент расширения и давления.

5.2. Основные положения неравновесной термодинамики. Синергетика – теория самоорганизации

В классической науке (XIX в.) господствовало убеждение, что материи изначально присуща тенденция к разрушению всякой упорядоченности, стремление к исходному равновесию, к повышению энтропии, что в энергетическом смысле и означало неупорядоченность, то есть хаос. Такой взгляд на вещи сформировался под воздействием физической дисциплины – равновесной термодинамики.

После замены модели стационарной Вселенной на модель развивающейся Вселенной, в которой ясно просматривалось нарастающее усложнение организации материальных объектов – от элементарных и субэлементарных частиц в первые мгновения после Большого взрыва до наблюдаемых ныне звездных и галактических систем, стало ясно, что для сохранения непротиворечивости общей картины мира необходимо постулировать наличие у материи в целом не только разрушительной, но и созидательной тенденции. Материя способна осуществлять работу и *против термодинамического равновесия*, самоорганизовываться и самоусложняться.

Стоит отметить, что постулат о способности материи к саморазвитию в философию был введен достаточно давно. А вот его необходимость в фундаментальных естественных науках (физике, химии) начинает осознаваться только сейчас. На волне этих проблем и возникла *синергетика – теория самоорганизации*. Ее разработка началась несколько десятилетий назад, и в настоящее время она развивается по нескольким направлениям: это *синергетика* (Г. Хакен), *неравновесная термодинамика* (И. Пригожин) и др.

Главные синергетические идеи можно выразить следующим образом:

– процессы разрушения и созидания, деградации и эволюции во Вселенной по меньшей мере равноправны;

– процессы созидания (нарастания сложности и упорядоченности) имеют единый алгоритм независимо от природы систем, в которых они осуществляются.

Синергетика – это некоторый междисциплинарный подход. Синергетика ориентирована на исследование принципов построения организации, ее возникновения, развития и самоусложнения.

Мир нелинейных самоорганизующихся систем гораздо богаче, чем закрытых, линейных систем. Вместе с тем «нелинейный мир» сложнее моделировать. Как правило, для (приближенного) решения большинства возникающих нелинейных уравнений требуется сочетание современных аналитических методов с вычислительными экспериментами. Синергетика открывает для точного, количественного, математического исследования такие стороны мира, как его неустойчивость, многообразие путей изменения и развития, раскрывает условия существования и устойчивого развития сложных структур, позволяет моделировать катастрофические ситуации и т. п.

Методами синергетики было осуществлено моделирование многих сложных самоорганизующихся систем: от морфогенеза в биологии и некоторых аспектов функционирования мозга до молекулярной физики и космологических процессов. Основной вопрос синергетики – существуют ли общие закономерности, управляющие возникновением самоорганизующихся систем, их структур и функций.

Таким образом, синергетика претендует на открытие некоего универсального механизма, с помощью которого осуществляется самоорганизация как в живой, так и неживой природе. Под *самоорганизацией* при этом понимается спонтанный переход открытой

неравновесной системы от менее к более сложным и упорядоченным формам организации. Отсюда следует, что объектом синергетики могут быть отнюдь не любые системы, а только те, которые удовлетворяют по меньшей мере двум условиям:

– они должны быть *открытыми*, то есть обмениваться веществом или энергией с внешней средой;

– они должны также быть существенно *неравновесными*, то есть находиться в состоянии, далеком от термодинамического равновесия.

Объект изучения классической термодинамики – закрытые системы, то есть системы, которые не обмениваются со средой веществом, энергией и информацией. *Открытые системы* – это такие системы, которые поддерживаются в определенном состоянии за счет непрерывного притока извне вещества, энергии или информации. Постоянный приток вещества, энергии или информации является необходимым условием существования неравновесных состояний в противоположность замкнутым системам, неизбежно стремящимся (в соответствии со вторым началом термодинамики) к однородному равновесному состоянию. Открытые системы – это системы *необратимые*; в них важным оказывается фактор времени. В открытых системах ключевую роль – наряду с закономерным и необходимым – могут играть случайные факторы, флуктуационные процессы. Иногда флуктуация может стать настолько сильной, что существовавшая организация разрушается.

Но если большинство систем Вселенной носит открытый характер, то это значит, что во Вселенной доминируют не стабильность и равновесие, а неустойчивость и неравновесность. Неравновесность, в свою очередь, порождает избирательность системы, ее необычные реакции на внешние воздействия среды. Неравновесные системы имеют способность воспринимать различия во внешней среде и учитывать их в своем функционировании. Так, некоторые более слабые воздействия могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем воздействия, хотя и более сильные, но неадекватные собственным тенденциям системы.

Процессы, происходящие в нелинейных системах, часто носят пороговый характер – при плавном изменении внешних условий поведение системы изменяется скачком. Другими словами, в состояниях, далеких от равновесия, очень слабые возмущения могут усили-

ваться до гигантских волн, разрушающих сложившуюся структуру и способствующих ее радикальному качественному изменению

Открытые неравновесные системы, активно взаимодействующие с внешней средой, могут приобретать особое динамическое состояние – *диссипативность*. Благодаря диссипативности в неравновесных системах могут спонтанно возникать новые типы структур, совершаться переходы от хаоса и беспорядка к порядку и организации, возникать новые динамические состояния материи. *Диссипативные структуры* – это такие открытые системы, в которых при больших отклонениях от равновесия возникают упорядоченные состояния.

Можно привести два ставших уже классическими примера организации упорядоченной структуры из хаотического движения. Первый относится к гидродинамической неустойчивости в жидкости, открытой в 1900 г. Бенаром. На поверхности жидкости возникает диссипативная пространственная структура, названная в честь этого исследователя ячейками Бенара. На подогреваемую снизу сковороду наливают масло с металлическими опилками, и поэтому вверху образуется тяжелый слой. За счет подогрева, то есть возникающего градиента температур, в результате действия силы тяжести и выталкивающей архимедовой силы подогретые легкие и тяжелые верхние слои стремятся поменяться местами. До какого-то момента эти внутренние движения гасятся силами вязкости, но при достижении некоторой критической разности температур возникает организованный конвекционный поток и поверхностный слой масла вдруг, скачком, разделяется на правильные шестиугольные ячейки, напоминающие пчелиные соты, которые можно увидеть, покачивая сковородку.

Другой пример относится к самопроизвольным периодическим химическим реакциям, впервые открытым Б. Белоусовым в 1951 г. При реакции окисления лимонной кислоты с катализатором возникали в определенной последовательности окислительно-восстановительные процессы, и раствор самопроизвольно периодически менял цвет. Подобные реакции в дальнейшем широко исследовались и использовались для разных веществ и получили название реакций Белоусова – Жаботинского.

Итак, синергетика утверждает, что развитие открытых и сильно неравновесных систем протекает путем нарастающей сложности и упорядоченности. В цикле развития такой системы наблюдаются две фазы:

1. Период плавного эволюционного развития с хорошо предсказуемыми линейными изменениями, подводящими в итоге систему к некоторому неустойчивому критическому состоянию.

2. Выход из критического состояния одномоментно, скачком и переход в новое устойчивое состояние с большей степенью сложности и упорядоченности.

Важная особенность: переход системы в новое устойчивое состояние *неоднозначен*. Достигая критических параметров, система из состояния сильной неустойчивости переходит в одно из многих возможных новых для нее устойчивых состояний. В этой точке (ее называют *точкой бифуркации*) эволюционный путь системы как бы *разветвляется*, и какая именно ветвь развития будет выбрана – решает случай. Но, после того как «выбор сделан» и система перешла в качественно новое устойчивое состояние, назад возврата нет. Процесс этот необратим. А отсюда следует, что развитие таких систем имеет принципиально непредсказуемый характер. Можно просчитать варианты ветвления путей эволюции системы, но какой именно из них будет выбран случаем, однозначно спрогнозировать нельзя.

В обобщенном виде новизну синергетического подхода можно выразить следующими позициями.

1. Хаос не только разрушителен, но и созидателен, конструктивен; развитие осуществляется через неустойчивость (хаотичность). Порядок и хаос не исключают, а дополняют друг друга: порядок возникает из хаоса.

2. Линейный характер эволюции сложных систем, к которому привыкла классическая наука, не правило, а, скорее, исключение; развитие большинства таких систем носит нелинейный характер. А это значит, что для сложных систем всегда существует несколько возможных путей эволюции.

3. Развитие осуществляется через случайный выбор одной из нескольких разрешенных возможностей дальнейшей эволюции в точках бифуркации. Следовательно, случайность встроена в механизм эволюции.

Синергетика родом из физических дисциплин – термодинамики, радиофизики, но ее идеи носят междисциплинарный характер. Они подводят базу под совершающийся в естествознании глобальный эволюционный синтез. Поэтому в синергетике видят одну из важнейших составляющих современной научной картины мира.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие молекулярно-кинетического и термодинамического подходов?
2. Почему невозможен вечный двигатель первого рода?
3. Каково соотношение энтропии и информации?
4. Что понимают под «демоном Максвелла»?
5. В чем принципиальное отличие неравновесной термодинамики от классической?
6. Что понимают под «точкой бифуркации»?

ГЛАВА 6. ОСНОВЫ ХИМИИ

6.1. Основные химические понятия и закономерности

Химия – это естественная наука, изучающая состав, свойства и химические превращения веществ.

Атом – электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц, состоящих из ядра (образованного протонами и нейтронами) и электронов. Всю совокупность атомов можно классифицировать по заряду ядра. Совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра называется *химическим элементом*.

Изотопы – это разновидности атомов одного и того же химического элемента с разной атомной массой, но одинаковым зарядом ядра. Ядра таких элементов содержат одинаковое число протонов, но разное число. Например, изотопами водорода являются: H^1 (атомная масса равна 1, в ядре имеется протон, нейтроны отсутствуют), D^2 (дейтерий, атомная масса равна 2, в ядре имеется протон и нейтрон), T^3 (тритий, атомная масса равна 3, в ядре имеется протон и 2 нейтрона).

Молекула – это наименьшая частица данного вещества, обладающая его химическими свойствами. Молекула – это электронейтральная наименьшая совокупность атомов, образующих определенную структуру посредством химических связей. Атомы элементов не меняются в результате химического процесса. Молекулы при любой химической реакции изменяются.

Моль – единица количества вещества, содержащая столько же единиц данного вещества, сколько атомов содержится в 12 г углерода (число Авогадро – $6,02 \cdot 10^{23}$).

Химическая формула отражает состав (структуру) вещества. *Молекулярная формула* указывает число атомов каждого элемента в молекуле. *Структурная (графическая) формула* отражает порядок соединения атомов в молекуле и число связей между атомами.

Химическая реакция – превращение веществ, сопровождающееся изменением их состава и (или) строения. *Схема реакции* – запись с помощью формул исходных веществ и продуктов реакции.

Валентность – это свойство атома данного элемента образовывать химические связи с другими атомами. Она определяется числом неспаренных электронов, неподеленных электронных пар и свободных орбиталей валентного уровня.

Закон сохранения массы веществ (М. В. Ломоносов, 1748 г.; А. Лавуазье, 1777 г.): масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате реакции.

Закон постоянства состава (Ж. Л. Пруст, 1801 г.): каждое чистое соединение независимо от способа его получения всегда имеет один и тот же состав.

Закон кратных отношений (Дж. Дальтон, 1803 г.): если два элемента могут образовывать между собой несколько соединений, то массовые доли любого из элементов в этих соединениях относятся друг к другу как небольшие целые числа.

Закон Авогадро (А. Авогадро, 1811 г.): в равных объемах различных газов при одинаковых температуре и давлении содержится одно и то же число молекул. В частности, при нормальных условиях – при температуре 273 К (0 °С) и давлении 101,325 кПа (1 атм., или 760 мм рт. ст.) – любой газ, количество которого равно 1 моль, занимает объем 22,4 л. Этот объем называется молярным объемом при нормальных условиях.

Учение о строении атома сыграло колоссальную роль в химии и физике XIX века. На основе атомной модели вскрыты глубинные принципы периодического изменения свойств химических элементов и развита теория Периодической системы Д. И. Менделеева. Решающее значение здесь имело установление закономерностей формирования электронных конфигураций (оболочек) по мере роста заряда атомного ядра. Современная формулировка *периодического закона Д. И. Менделеева* такова: свойства химических элементов, а также

формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядер их атомов.

Периодический закон и Периодическая система элементов Д. И. Менделеева позволили химии стать истинной наукой. Химия перестала быть описательной, экспериментальной научной дисциплиной. С открытием периодического закона в ней стало возможным научное предвидение. Периодический закон и Периодическая система ускорили развитие учения о строении атома, что привело к открытию атомной энергии и использованию ее для нужд человечества. Периодический закон сыграл решающую роль в развитии ряда смежных с химией естественных наук.

6.2. Химические реакции и особенности их протекания

Вещества, взаимодействуя друг с другом, подвергаются различным изменениям и превращениям. *Физическим изменением* вещества называют такое изменение, при котором внутреннее строение, состав и свойства не подвергаются изменению (например, нагревание, плавление, испарение). *Химическими изменениями* вещества называют такие, когда в результате взаимодействия исходных веществ (химической реакции) появляются одно или несколько других веществ, отличающихся от первоначальных составом, структурой и свойствами.

Изучением скорости и особенностей протекания химических реакций занимается *химическая кинетика*. Основопологающим для химической кинетики является представление о том, что исходные вещества, вступающие в химическую реакцию, чрезвычайно редко непосредственно превращаются в ее продукты. В большинстве случаев реакция проходит ряд последовательных и параллельных стадий, на которых образуются и расходуются промежуточные вещества. Число последовательных стадий может быть очень велико – в цепных реакциях их десятки и сотни тысяч. Время жизни промежуточных веществ весьма разнообразно: одни вполне стабильны, другие существуют в равновесном состоянии доли секунды. Изучение скорости протекания химических процессов показало, что химические реакции протекают тем быстрее, чем выше температура, давление и концентрация реагентов.

На скорость некоторых химических реакций можно влиять присутствием небольшого количества определенных веществ, которые сами в реакции участия не принимают. Вещества эти называются *катализаторами*. Катализаторы бывают положительными, ускоряющими реакцию, и отрицательными – замедляющими ее (*ингибиторы*). Каталитическое ускорение химической реакции называется *катализом* и является приемом современной химической технологии (производство полимерных материалов, синтетического топлива и др.). Считается, что удельный вес каталитических процессов в химической промышленности достигает 80%. Благодаря катализу существенно повысилась эффективность экономики химической промышленности, поскольку ускорение химических реакций заметно влияет на снижение издержек производства.

Энергия химических реакций возникает за счет изменения в системе или внутренней энергии, или энтальпии. Внутренняя энергия – это общий запас энергии системы, который складывается из энергии движения и взаимодействия молекул, энергии движения и взаимодействия ядер и электронов в атомах и молекулах. Энтальпией называют величину:

$$H = U + pV,$$

где U – внутренняя энергия системы;

p – давление;

V – объем системы.

Приращение энтальпии равно теплоте, полученной системой в изобарном (без изменения давления) процессе. Подавляющее большинство химических реакций происходит при постоянном давлении. Поэтому энергетический эффект реакции оценивается именно изменением энтальпии или тепловым эффектом реакции.

Химические реакции, при протекании которых происходит уменьшение энтальпии системы и во внешнюю среду выделяется теплота, называются *экзотермическими*. Реакции, в результате которых энтальпия возрастает и система поглощает теплоту извне, называются *эндотермическими*.

Многие реакции являются *обратимыми*, то есть протекают как в прямом, так и в обратном направлениях. Состояние, в котором скорость обратной реакции становится равной скорости прямой реакции, называется *химическим равновесием*. Количественной характеристикой является константа химического равновесия, равная отношению

произведения равновесных концентраций продуктов реакции и исходных веществ.

Состояние химического равновесия при неизменных внешних условиях может сохраняться сколь угодно долго. В действительности же реальные системы обычно испытывают различные воздействия (изменение температуры, давления или концентрации реагентов), выводящие систему из состояния равновесия. Изменения, происходящие в системе в результате внешних воздействий, определяются принципом подвижного равновесия – *принципом Ле Шателье*.

Суть его заключается в том, что внешнее воздействие на систему, находящуюся в состоянии равновесия, приводит к смещению этого равновесия в направлении, при котором эффект произведенного воздействия ослабляется. Внешнее воздействие на систему изменяет соотношение между скоростями прямого и обратного процесса, благоприятствуя тому из них, который противодействует внешнему влиянию.

Например, при увеличении (уменьшении) концентрации любого из веществ равновесие смещается в сторону его расходования (образования). Увеличение (уменьшение) температуры смещает равновесие в сторону эндотермической (экзотермической) реакции. Повышение давления увеличивает концентрации газообразных веществ, находящихся в равновесной системе в меньшем объеме.

6.3. Типы химической связи

При образовании химической связи происходит *перераспределение в пространстве электронных плотностей*, первоначально принадлежавших разным атомам. Поскольку наименее прочно связаны с ядром электроны внешнего уровня, то этим электронам принадлежит главная роль в образовании химической связи. Количество химических связей, образованных данным атомом в соединении, называют *валентностью*. Электроны, принимающие участие в образовании химической связи, называются валентными. В зависимости от характера их распределения различают три основных типа химической связи: металлическую, ионную и ковалентную.

Ковалентная связь образуется парой электронов, принадлежащих двум атомам. При этом происходит перекрывание атомных орбиталей, повышение электронной плотности в пространстве между ядрами и их стягивание. Ковалентная связь – наиболее общий вид

химической связи, возникающий за счет обобществления электронной пары посредством *обменного механизма* (рис. 8), когда каждый из взаимодействующих атомов поставляет по одному электрону, или по *донорно-акцепторному механизму*, если электронная пара передается в общее пользование одним атомом (донором) другому атому (акцептору).

Ионная связь – частный случай ковалентной, когда образовавшаяся пара электронов полностью принадлежит одному из атомов, становящихся анионом (отрицательно заряженным ионом). Таким образом, ионная связь – это связь между противоположно заряженными ионами, когда атомы одного элемента легко отдают внешний электрон (например, щелочные металлы), а атомы другого элемента присоединяют электрон (например, атомы галогенов). Образующиеся ионы электростатически притягиваются друг к другу.

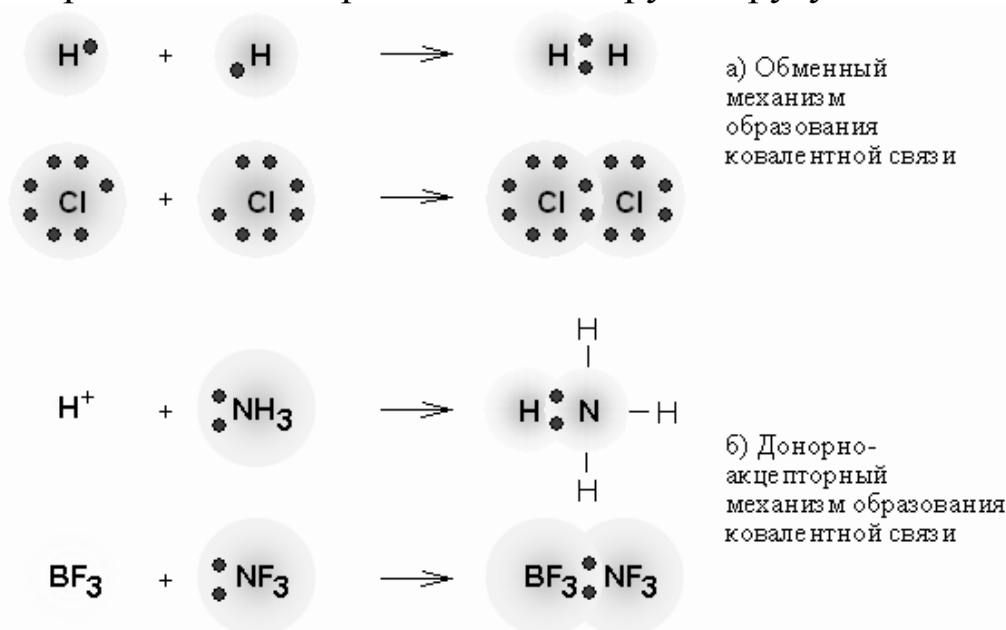


Рис. 8. Механизмы образования ковалентной связи

Металлическая связь существует в металлах в твердом и в жидком состоянии. В соответствии с положением в периодической системе атомы металлов имеют небольшое число валентных электронов (1-3) и низкую энергию ионизации (отрыва электрона). Поэтому валентные электроны слабо удерживаются в атоме, легко отрываются и имеют возможность перемещаться по всему кристаллу. В узлах кристаллической решетки металлов находятся свободные атомы, положительно заряженные ионы, а часть валентных электронов, свободно перемещаясь в объеме кристаллической решетки, образует «электронный газ», обеспечивающий связь между атомами металла. Связь,

которую осуществляют относительно свободные электроны между ионами металлов в кристаллической решетке, называется металлической связью. Металлическая связь возникает за счет *обобществления атомами валентных электронов*.

6.4. Основные понятия органической химии

Органическая химия – это химия углеводородов и их производных. Благодаря особым свойствам элемента углерода, органические соединения очень многочисленны. Сейчас известно свыше 20 миллионов синтетических и природных органических веществ, и их число постоянно возрастает.

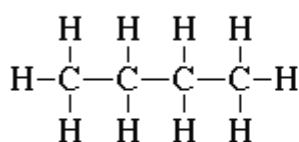
Теория химического строения органических веществ сформулирована А. М. Бутлеровым в 1861 г. В современной структурной теории органических соединений основными являются следующие положения:

1. Атомы в органических молекулах соединены между собой в определенном порядке химическими связями в соответствии с валентностью. Их многообразие определяется прежде всего электронным строением атома углерода, который во всех органических соединениях четырехвалентен.

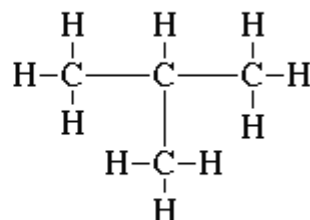
2. Порядок соединения атомов называется химическим строением, которое можно выразить структурной формулой.

3. Физические и химические свойства вещества зависят не только от их качественного и количественного состава, но и от строения молекул. Вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав (одинаковую молекулярную формулу), но разное строение молекул, называются *изомерами*. Например, н-бутан и изобутан (рис. 9) имеют одинаковую молекулярную формулу C_4H_{10} , но разное строение молекул и физические свойства (в частности, температуру кипения).

Изомеры состава C_4H_{10}



n-Бутан
(т.кнп. -0.5°C)



Изобутан
(т.кнп. -11.4°C)

Рис. 9. Изомеры соединения C_4H_{10}

Соединения, в состав которых входят только углерод и водород, называются *углеводородами*. *Предельные углеводороды* содержат только одинарные связи C–C и C–H. *Непредельные (ненасыщенные) углеводороды* содержат одну или несколько двойных связей. Другие, более многочисленные, органические соединения можно рассматривать как производные углеводородов, которые образуются при введении в углеводороды *функциональных групп*, содержащих другие элементы. В зависимости от природы функциональных групп органические соединения делят на *классы* (рис. 10). Все классы органических соединений взаимосвязаны. Переход от одних классов соединений к другим осуществляется в основном за счет превращения функциональных групп без изменения углеродного скелета. Соединения каждого класса составляют *гомологический ряд*. Гомологи – это соединения, принадлежащие к одному классу, но отличающиеся друг от друга по составу на целое число групп $-CH_2-$. Гомологи обладают весьма похожими физическими и химическими свойствами.

Функциональ- ная группа	Название группы	Классы соединений	Общая формула	Пример
-OH	Гидроксип	Спирты	R-OH	C ₂ H ₅ OH этиловый спирт
		Фенолы		 фенол
>C=O	Карбонил	Альдегиды	$\begin{matrix} R \\ \diagup \\ C=O \\ \diagdown \\ H \end{matrix}$	CH ₃ CHO уксусный альдегид
		Кетоны	$\begin{matrix} R \\ \diagup \\ C=O \\ \diagdown \\ R \end{matrix}$	CH ₃ COCH ₃ ацетон
$\begin{matrix} O \\ \parallel \\ -C \\ \backslash \\ OH \end{matrix}$	Карбоксип	Карбоновые кислоты	$R-C \begin{matrix} \parallel \\ O \\ \backslash \\ OH \end{matrix}$	CH ₃ COOH уксусная кислота
-NO ₂	Нитрогруппа	Нитро-соединения	R-NO ₂	CH ₃ NO ₂ нитрометан
-NH ₂	Аминогруппа	Амины	R-NH ₂	 анилин
-F, -Cl, -Br, -I (Hal)	Фтор, хлор, бром, иод (галоген)	Галогено-производные	R-Hal	CH ₃ Cl хлористый метил

Рис. 10. Основные классы органических соединений

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение терминам «атом», «химический элемент», «изотоп», «молекула».
2. Обладает ли одна молекула вещества его физическими свойствами? Почему?
3. Сколько молекул находится в двух молях воды?
4. В чем состоит особенность металлической связи?
5. Раскройте донорно-акцепторный механизм образования ковалентной связи.
6. Сформулируйте принцип Ле-Шателье. Как, согласно данному принципу, сместить равновесие в сторону эндотермической реакции?
7. Приведите примеры изомеров и гомологов органических соединений.

ГЛАВА 7. КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОСФЕРНЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ

7.1. Географическая оболочка и ее особенности

Геосферы Земли – более или менее концентрические слои, охватывающие всю Землю и обладающие присущими только им характерными физическими, структурными, физико-химическими, химическими и биологическими свойствами. Геосферы подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся атмосфера, гидросфера, земная кора. К внутренним геосферам относятся мантия и ядро. Земная кора, атмосфера и гидросфера входят в состав биосферы – сложной прерывистой оболочки Земли, являющейся средой обитания биоты – живого вещества планеты.

Пространство, в котором взаимопроникают и взаимодействуют литосфера, гидросфера и атмосфера, носит название *географической оболочки*. Географическая оболочка представляет собой единую материальную систему, обладающую рядом лишь ей присущих особенностей: в ней лучистая энергия Солнца превращается в тепловую; вода находится одновременно в трех состояниях: жидком, твердом и газообразном; в ней возникли и развиваются растения и животные, формируются почвы, образуются осадочные горные породы, на определенном этапе развития появился человек, сформировалось человеческое общество, постоянно взаимодействующее с окружающей ее природой.

Географическая оболочка развивается и имеет свои *закономерности в развитии*:

1. *Целостность* – изменение одного ее компонента неизбежно вызывает изменение всех остальных.

2. *Круговорот веществ и энергии*. Круговорот веществ обеспечивает многократность одних и тех же процессов и явлений при ограниченном объеме исходного вещества.

3. *Ритмичность* – повторяемость сходных явлений во времени. Существуют ритмы разной продолжительности – суточные, годовые (сезонные), внутривековые.

4. *Зональность* – закономерное изменение всех компонентов географической оболочки и самой оболочки по направлению от экватора к полюсам. Основные причины зональности – форма Земли и положение ее относительно Солнца, а предпосылка – падение сол-

нечных лучей на поверхность под углом, постепенно уменьшающимся в обе стороны от экватора. Дифференциация географической оболочки по зональным признакам выражается прежде всего в делении на географические пояса и зоны и высотные пояса и зоны.

В 80-е годы XX в. в геологическую науку было введено понятие «*геологическая среда*», которая, по мнению ряда ученых, представляет собой часть географической оболочки. Она соответствует самой верхней части земной коры и выступает как минеральная основа биосферы. Автор этого термина *Е. М. Сергеев* (1979) и его последователи под геологической средой понимают верхнюю часть литосферы, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. Верхней границей геологической среды в таком понимании является поверхность рельефа, характерная для конкретной территории. Нижняя граница геологической среды зависит от глубины проникновения человека в толщу земной коры в ходе различных видов его деятельности.

Согласно другой точке зрения, понятие «геологическая среда» должно рассматриваться в более широком плане: геологическая среда – это то пространство, где совершаются геологические процессы. Независимо от места своего возникновения (в глубоких недрах или на земной поверхности) эндогенные и экзогенные процессы, взаимодействующие между собой и с внешними геосферами, совершают в огромнейших масштабах разнообразные геологические преобразования. При определенных условиях в геологической среде возникает вся масса горных пород и минералов, существуют органические сообщества, действуют геологические силы, преобразующие лик Земли, возникают катастрофические, стихийные геологические явления.

7.2 Атмосфера: строение, происхождение, экологические функции

Атмосфера – это газовая оболочка, не имеющая четко выраженной верхней границы и существующая благодаря гравитационному притяжению Земли. Состав у поверхности Земли следующий: азот – 78,1%, кислород – 20,95%, аргон – 0,93% и в незначительных долях процента углекислый газ, водород, гелий, неон и другие газы. На высоте 20-25 км расположен слой озона, который предохраняет живые организмы от коротковолнового (ультрафиолетового) солнечного излучения, пагубно воздействующего на живые организмы.

По резкой смене температур в атмосфере выделяют несколько слоев (сфер). Границы между ними носят название пауз (тропопауза,

стратопause, мезопause). В самом нижнем слое – *тропосфере* – температура по мере повышения высоты от земной поверхности падает до -55°C у полюса и -75°C у экватора. В ней сосредоточено $4/5$ всей массы атмосферы. Она богата азотом и кислородом, насыщена парами воды и углекислым газом. Здесь протекают важные погодные процессы и образуются облака. Температура в тропосфере падает с высотой в среднем на 6°C на каждый километр. Тропосфера простирается до высоты 12-15 км и отделяется от стратосферы тропопаузой.

В *стратосфере* происходит резкое повышение температуры, достигающее 0°C на высоте 55 км, где проходит стратопause. В стратосфере количество азота и кислорода уменьшается, а содержание водорода, гелия и других легких газов увеличивается. В ней располагается озоновый слой.

Следующий слой атмосферы – *мезосфера* – располагается в интервале 55-95 км над поверхностью Земли. В ней продолжается падение температуры с увеличением высоты и достигает -70 , -80°C в мезопause.

В *термосфере* температура повышается, достигая на высоте 400 км 1200°C . Ее нередко называют ионосферой, так как молекулы газов ионизированы космическим излучением, то есть лишены верхних электронов и поэтому обладают положительным зарядом. Как и любой ионизированный газ, воздух в термосфере хорошо проводит электричество. К тому же термосфера обладает замечательным свойством – отражает радиоволны, что делает возможной дальнюю связь на Земле.

Выше термосферы располагается *экзосфера*, представляющая собой переходную область между атмосферой и межпланетным пространством. Характерными ее особенностями являются преобладание газов в атомарном состоянии и очень малая плотность. Здесь наиболее легкие газы покидают атмосферу и рассеиваются в космическом пространстве.

Современная атмосфера представляет собой результат длительного эволюционного развития. Она возникла в результате совместных действий геологических факторов и жизнедеятельности организмов. Первичная атмосфера (*протоатмосфера*) на самой ранней протопланетной стадии, то есть старше чем 4,2 млрд. лет, могла состоять из смеси метана, аммиака и углекислого газа. В результате *дегазации мантии* и протекающих на земной поверхности активных *процессов выветривания* в атмосферу стали поступать пары воды, соединения углерода в виде CO_2 и CO , серы и ее соединений, а также сильных га-

логенных кислот – HCl, HF, HI и борной кислоты, которые дополнялись находившимися в атмосфере метаном, аммиаком, водородом, аргоном и некоторыми другими благородными газами. Эта первичная атмосфера была чрезвычайно тонкой.

С течением времени газовый состав первичной атмосферы под влиянием процессов выветривания горных пород, выступавших на земной поверхности, жизнедеятельности цианобактерий и сине-зеленых водорослей, вулканических процессов и действия солнечных лучей стал трансформироваться. Привело это к разложению метана на водород и углекислоту, аммиака – на азот и водород; во вторичной атмосфере стали накапливаться углекислый газ, который медленно опускался к земной поверхности, и азот. Благодаря жизнедеятельности сине-зеленых водорослей в процессе фотосинтеза стал вырабатываться кислород, который, однако, вначале в основном расходовался на окисление атмосферных газов, а затем – горных пород. При этом аммиак, окислившись до молекулярного азота, стал интенсивно накапливаться в атмосфере. Метан и оксид углерода окислялись до углекислоты. Сера и сероводород окислялись до SO₂ и SO₃, которые вследствие своей высокой подвижности и легкости быстро удалились из атмосферы. Таким образом, атмосфера из *восстановительной*, какой она была в архее и раннем протерозое, постепенно превращалась в *окислительную*.

Углекислый газ поступал в атмосферу как вследствие окисления метана, так и в результате дегазации мантии и выветривания горных пород. Значительная часть углекислого газа из атмосферы растворялась в гидросфере, в которой он использовался гидробионтами для построения своей раковины и биогенным путем превращался в карбонаты. В дальнейшем из них были сформированы мощнейшие толщи хемогенных и органогенных карбонатов.

Кислород в атмосферу поступал из трех источников. В течение длительного времени, начиная с момента возникновения Земли, он выделялся в процессе дегазации мантии и в основном расходовался на окислительные процессы. Другим источником кислорода была фотодиссоциация паров воды жестким ультрафиолетовым солнечным излучением. Третьим – процессы фотосинтеза. Стабилизация содержания кислорода в атмосфере произошла с того момента, когда растения вышли на сушу, – примерно 450 млн. лет назад.

Экологические функции атмосферы заключаются в обеспечении условий:

- жизнедеятельности организмов;
- функционирования гидросферы, литосферы и почвы;
- формирования климата;
- возникновения экстремальных явлений и стихийных бедствий;
- развития человечества.

Наряду с экологическими атмосфера обладает и *геологическими функциями*. Геологическая роль атмосферы заключается в том, что ее строение, элементный состав, состояние и взаимодействие с литосферой, почвенным покровом, гидросферой, равно как и протекающие в ней процессы, определяются скоростями и масштабностью воздействия на поверхностную часть литосферы физико-химических факторов, которые определяют интенсивность и скорость воздействия агентов выветривания, эрозии, транспортировки и аккумуляции осадочного материала. Атмосфера – важный источник веществ для формирования почв, горных пород и полезных ископаемых. Атмосфера не только является преобразователем солнечной энергии, но и одновременно служит источником строительного материала (оксида углерода) для живых организмов.

7.3. Гидросфера: строение, происхождение, экологические функции

Под *гидросферой* подразумевают поверхностную оболочку, состоящую из воды морей и океанов, поверхностных водоемов суши, временных и постоянных водотоков, твердой воды в виде снега и льда. Наряду с поверхностной существует и подземная гидросфера, к которой относятся грунтовые и подземные, в том числе артезианские, воды.

Океаны и моря покрывают почти 71% поверхности Земли, а вместе с водными объектами суши, к которым относятся ледники, озера, водохранилища, болота, пруды, водой покрыто почти 3/4 земной поверхности. Высокая теплоемкость воды и значительная потенциальная энергия ее многочисленных фазовых переходов вместе с огромной площадью зеркала воды имеют большое значение для теплового и водного режимов Земли. Гидросфера вместе с атмосферой являются решающим *фактором в почвообразовании* и формировании растительного покрова Земли и, следовательно, обуславливают

ландшафтный облик планеты. Мировой океан является *глобальным аккумулятором теплоты*. Он трансформирует солнечную энергию, аккумулирует ее, а при необходимости, медленно охлаждаясь, отдает часть теплоты в атмосферу. Таким образом, гидросфера играет важнейшую и весьма неоднозначную *роль в терморегуляции планеты*.

Экологические функции Мирового океана вытекают из его взаимодействия с атмосферой и верхней частью литосферы, которое приводит к широкому газообмену, способствует возникновению климата и погодных условий, обуславливает распределение температуры, солености и плотности Мирового океана, вызывает поверхностную и глубинную гидродинамику. Все это играет ведущую роль в *распределении биоты* и обуславливает жизнедеятельность организмов, транспортировку и аккумуляцию вещества.

Геологическая роль гидросферы состоит в том, что она как один из главнейших экзогенных факторов преобразует земную поверхность, участвует в формировании рельефа, переносит во взвешенном и растворенном состоянии вещества и химические соединения и участвует в аккумуляции осадочного материала.

Экологические функции гидросферы обеспечиваются непрерывной *циркуляцией воды*. Ее перемещение происходит в результате механического движения – потоки воды в реках, течения в толще океана; в результате изменения фазового состава вода испаряется и попадает в атмосферу посредством диффузионного и конвективного потоков. Последние характерны для почв и горных пород. В северных районах наблюдается очень редкий способ передвижения воды путем возгонки. Снег (твердая фаза воды), испаряясь, сразу превращается в пар и попадает в атмосферу. Таким образом происходит непрерывный замкнутый процесс циркуляции воды на Земле, именуемый круговоротом. Различают малый, большой и входящий в него внутриматериковый круговороты.

Вода, испарившаяся с поверхности океана, большей частью конденсируется и возвращается обратно в виде атмосферных осадков (*малый, или океанический, круговорот*) и частично переносится воздушными течениями на сушу. Атмосферные осадки, выпавшие на сушу, просачиваясь в почву и зону аэрации, создают запасы почвенной влаги. Проникшие глубже атмосферные осадки образуют подземные воды: грунтовые, пластовые и воды глубоких горизонтов. Часть атмосферных осадков стекает по земной поверхности, образуя ручьи и реки, а остальная часть снова испаряется. В конце концов,

вода, принесенная воздушными течениями на сушу, снова достигает океана, завершая *большой круговорот воды* на земном шаре. Из большого круговорота может быть выделен еще *местный, или внутриматериковый, круговорот*, при котором вода, испарившаяся с поверхности суши, вновь попадает на сушу в виде атмосферных осадков.

Представления о *происхождении гидросферы* основываются на существовании следующих источников воды: дегазации расплавленной магмы, выбросов воды в виде пара вулканами и «черными» курильщиками. Многие зависело от состава первичного вещества, которое образовало Праземлю. Среди веществ, сложивших нашу планету, помимо вещества типа метеоритного должно было быть и вещество типа кометного, то есть содержащее лед, металлы и органику. Другими словами, первичная Земля уже имела достаточное количество воды в виде льда. Чисто кометный вариант происхождения океанов пока не имеет достаточных оснований, так как в существующем океане слишком много следов дегазации недр Земли.

7.4. Внутреннее строение Земли. Литосфера и ее экологические функции

Внутреннее строение Земли. Верхняя оболочка Земли – *земная кора* – самая неоднородная и сложно устроенная (рис. 11). Выделяют два основных типа земной коры: *океанический (базальтовый)* и *континентальный (гранито-гнейсовый)* с прерывистым осадочным слоем.

Океанская кора по своему составу примитивна и представляет верхний слой дифференцированной мантии, сверху перекрытый тонким слоем пелагических осадков. В составе океанской коры выделяют три слоя. Самый верхний слой – *осадочный* – представлен карбонатными осадками. На больших глубинах отлагаются бескарбонатные глубоководные красные глины. Средняя мощность океанских осадков не превышает 500 м и только у подножия материковых склонов, особенно в районах крупных речных дельт, она возрастает до 12-15 км. Второй слой океанской коры в верхней части слагается *подушечными лавами базальтов*. Ниже располагаются *долеритовые дайки* того же состава. Общая мощность второго слоя океанской коры составляет 1,5 км и редко достигает 2 км. Под дайковым комплексом располагаются *габбро*. Мощность *габбро-серпентинитового слоя* достигает 5 км. Таким образом, общая мощность океанской коры без осадочного чехла составляет 6,5-7 км.

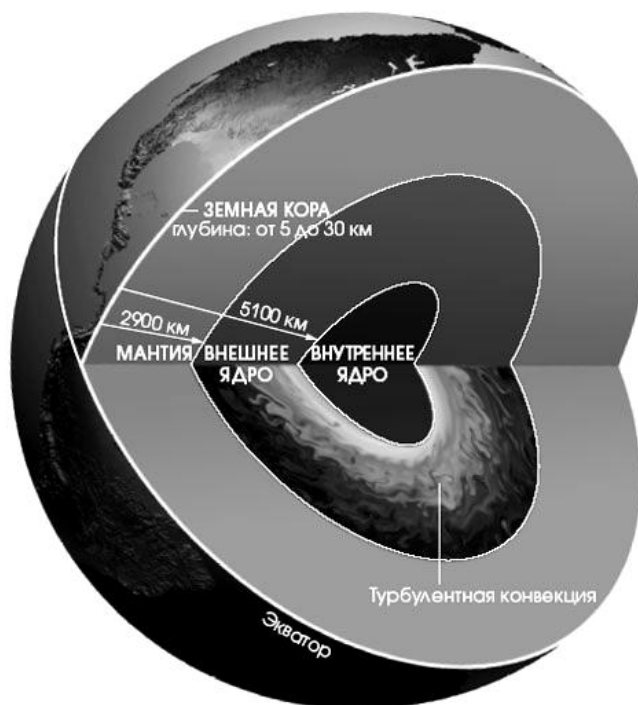


Рис. 11. Внутреннее строение Земли

Континентальная кора резко отличается от океанской. Ее мощность меняется от 20-25 км под островными дугами до 80 км под молодыми складчатыми поясами Земли: Альпийско-Гималайским и Андийским. В континентальной коре выделяют три слоя. Мощность верхнего *осадочного слоя* меняется в широких пределах: от практического отсутствия до 10-15 км. Средняя мощность осадков составляет около 3 км. Под осадочным слоем находятся толщи с преобладанием в них *пород гранитоидного ряда*. Под гранитным слоем располагается *базальтовый слой*, сходный по составу с породами океанской коры. Как континентальная, так и океанская кора подстилаются породами верхней мантии. Земная кора состоит из силикатов и алюмосиликатов. В ней преобладают кислород (43,13%), кремний (26%) и алюминий (7,45%), представленные, главным образом, в форме оксидов, силикатов и алюмосиликатов.

Мантия (рис. 11) – силикатная оболочка Земли, расположенная между подошвой земной коры и поверхностью ядра и составляющая 67,8% общей массы Земли. Мантия состоит из трех слоев. Верхние два слоя, образующие *верхнюю мантию*, имеют толщину 850-900 км, *нижний слой мантии* – 2000 км. Верхнюю часть мантии, залегающую непосредственно под земной корой, называют *субстратом*. Под океанами в верхней мантии выделяют также слой с пониженной скоро-

стью распространения сейсмических волн – *астеносферу* Земли. Считается, что мантийное вещество в этом слое находится частично в расплавленном состоянии.

Земное ядро состоит из двух слоев (рис. 11) – *внешнего (жидкого) ядра* и *внутреннего (твердого)*. Радиус внутреннего твердого ядра примерно равен 1200-1250 км, толщина переходного слоя между внутренним и внешним ядрами приблизительно равна 140-150 км, а толщина внешнего жидкого ядра, которое начинается с глубины 2870-2920 км, равна примерно 3000 км. Масса земного ядра составляет 32% всей массы Земли, а его объем – около 16% объема всей Земли. Земное ядро примерно на 90% состоит из железа с добавками кислорода, серы, углерода, водорода и, возможно, кремнезема; внутреннее – из железо-никелевого сплава метеоритного состава. Температура, согласно расчетным данным, во внутреннем ядре составляет около 4000-5000°C.

Неоднократное объединение и новое деление массивов суши, «закрытие» и появление океанов, то есть изменение планетарного рельефа Земли, в настоящее время не вызывают у ученых сомнений. Но по вопросу, почему и как это происходило, единого мнения нет. Одни ученые придерживаются того мнения, что суша возникала и погружалась без горизонтальных перемещений материков – гипотеза «*фиксизма*». Другие считают, что материки постоянно перемещались – «сходились» и «расходились» – гипотеза «*мобилизма*». Эту гипотезу выдвинул *А. Вегенер*. Он предположил, исходя из очертаний континентов, что в карбоне существовал единый массив суши, названный им *Пангеей* (греч. – «вся земля»). Пангея раскололась на *Лавразию* и *Гондвану*. 135 млн. лет назад Африка отделилась от Южной Америки, а 85 млн. лет назад Северная Америка от Европы; 40 млн. лет назад Индийский материк столкнулся с Азией и появились Тибет и Гималаи.

Эта теория нашла поддержку только к концу XX в. и получила широкое признание. Кроме того, была выдвинута новая концепция *тектоники литосферных плит*. Сторонники ее полагают, что литосфера Земли состоит из шести крупных и многих мелких плит, «плавающих» по астеносфере. Плиты ограничены сверхглубинными разломами, совпадающими либо с рифтовыми долинами в осевой части срединно-океанических хребтов, либо с глубоководными желобами.

Крупными плитами являются: Евроазиатская, Американская, Африканская, Тихоокеанская, Индийская и Антарктическая.

Процесс раздвига литосферных плит происходит по линии подводных хребтов к линии желобов со скоростью от 1 до 6 см в год. Это установлено по снимкам, сделанным с искусственных спутников Земли. По образовавшимся трещинам происходит излияние базальтовой лавы, которая, застывая, образует своеобразные клинья, распирающие и смещающие по горизонтали смежные плиты. Океанические литосферные плиты, перемещаясь, подвигаются под соседние континентальные плиты. При этом происходит разогревание краев плит и плавление литосферы, проявляется вулканизм и активизируется сейсмическая активность, например, на Тихоокеанском побережье Евразии. Происходит смятие в складки осадочных слоев, перекрывающих плиту. Сталкивающиеся литосферные плиты приводят к образованию горно-складчатых сооружений. Примером могут служить горные системы Альп, Кавказа, Памира и Гималаев, возникшие в результате столкновения южных литосферных плит с Евразией. Эту теорию подтверждают и биологические данные о распространении животных на нашей планете. Теория дрейфа континентов, основанная на тектонике литосферных плит, ныне общепринята в геологии.

Литосферой называют каменную оболочку Земли, все компоненты которой находятся в твердом кристаллическом состоянии. Она включает земную кору, подкоровую верхнюю мантию и подстилается астеносферой.

Экологическая функция литосферы, согласно В. Т. Трофимову, складывается из трех частей:

1. *Ресурсная функция литосферы* определяет значение минерального, органического и органоминерального сырья литосферы, составляющего основу для жизни и деятельности биоты как в качестве биогеоценоза, так и антропогенеза. По мнению В. Т. Трофимова и других (1997), она включает следующие аспекты: ресурсы, необходимые для жизни и деятельности биоты; ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества; ресурсы как геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, в том числе человеческого общества.

2. *Геодинамическая функция литосферы*. Под геодинамической функцией литосферы понимается способность последней к проявле-

нию и развитию природных и антропогенных геологических процессов и явлений, в той или иной мере влияющих на условия жизнеобитания, жизнедеятельности биоты и особенно человеческого общества.

Исходя из степени воздействия на биоту, в том числе и на человека, все геодинамические процессы можно разделить на две группы. Одни процессы в силу своей масштабности и скорости проявления не способны оказывать прямого негативного влияния на живые организмы, а другие действуют на биоту в форме катастрофических явлений и стихийных бедствий и, таким образом, являются опасными природными процессами. К первым относятся, например, перемещения литосферных плит, тектонические медленные вертикальные и горизонтальные движения, выветривание, осадконакопление. Ко вторым относятся оползни, землетрясения, извержения вулканов.

3. Геофизико-геохимическая функция литосферы. Эта функция определяется как свойство геофизических и геохимических полей (неоднородностей) природного и антропогенного происхождения влиять на состояние биоты и здоровье человека. Участки с высоким содержанием химических элементов, сильно отличающимся от геохимического фона, называются участками с геохимической аномалией. Выделяются естественные геофизические поля – магнитное, гравитационное, геотермическое и искусственно возбужденные электрические поля постоянных токов и геофизические аномалии.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «географическая оболочка».
2. Какова функция озонового слоя атмосферы?
3. В чем отличие газового состава современной атмосферы от протоатмосферы?
4. Какие гипотезы объясняют появление гидросферы Земли?
5. Назовите отличия в составе океанической и континентальной коры.
6. Какие факты подтверждают теорию тектоники литосферных плит?
7. В чем заключается геофизико-геохимическая функция литосферы?

ГЛАВА 8. ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИИ

8.1. Критерии и уровни организации живого

Живые системы обладают рядом отличительных признаков и свойств – *критериями живого*:

1. *Единство химического состава* – соотношение химических элементов в живом и неживом неодинаково, в живых организмах 98% приходится на биогенные элементы (углерод, водород, азот, кислород, фосфор, серу), из которых состоят углеводы, белки, жиры, нуклеиновые кислоты.

2. *Обмен веществ и энергии*. Живые организмы – открытые системы, их жизнедеятельность осуществляется в результате процессов синтеза веществ (ассимиляции, анаболизма) и их распада (диссимиляции, катаболизма).

3. *Самовоспроизведение*. В основе самовоспроизведения лежат реакции матричного синтеза, то есть образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в последовательности нуклеотидов ДНК. Следовательно, самовоспроизведение – одно из основных свойств живого, тесно связанное с явлением наследственности.

4. *Наследственность* – способность организмов передавать из поколения в поколение признаки, свойства, особенности развития.

5. *Изменчивость* – способность организмов приобретать новые свойства, видоизменяться и существовать в различных формах.

6. *Рост и развитие*. Способность к развитию – всеобщее свойство материи. Под развитием понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой природы. В результате развития возникает качественно новое состояние объекта, вследствие которого изменяется его состав и структура.

7. *Раздражимость* – способность организма отвечать на внешнее воздействие специфическими ответными реакциями.

8. *Способность к движению*. Способность активно передвигаться характерна в основном для животных, но и растения, и грибы осваивают новое пространство за счет процессов роста и распространения семян, спор или вегетативных органов.

9. *Саморегуляция* тесно связана с понятием «гомеостаз». Гомеостаз – поддержание относительного постоянства внутренней среды организма.

10. *Дискретность*. Любая биологическая система состоит из отдельных изолированных, обособленных или отграниченных в пространстве, но тем не менее тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство.

В связи с этим можно выделить следующие *уровни организации живой материи*:

1. *Молекулярный* – представлен молекулами биополимеров: белков и нуклеиновых кислот; на этом уровне происходит копирование и передача наследственной информации.

2. *Субклеточный* – представлен структурами клетки – органеллами, цитоплазмой, мембраной и т. д.

3. *Клеточный*. Клетка – структурно-функциональная единица живого.

4. *Тканевой*. Ткань – совокупность клеток, объединенных общностью строения, происхождения, выполняемыми функциями.

5. *Органный*. Данный уровень представлен органами и их системами.

6. *Организменный*. Элементарная единица этого уровня – особь.

7. *Популяционно-видовой*. *Популяция* – совокупность особей одного вида, обитающих на общей территории и дающих плодовитое потомство. *Вид* – совокупность особей, обладающих сходным строением, единством генетического состава и возможностью самовоспроизведения.

8. *Биоценотический*. *Биоценоз (сообщество)* – совокупность популяций разных видов, обитающих на одной территории и вступающих в определенные отношения друг с другом. *Биоценоз* в совокупности с *биотопом* (неживые условия среды) образуют *биогеоценоз*, или *экосистему*.

9. *Биосферный*. *Биосфера* – глобальная экосистема, совокупность всех живых организмов вместе со средой их обитания

8.2. Клетка – структурно-функциональная единица живого

Клетка – наименьшая структура, обладающая всеми критериями живого: она растет, развивается, размножается и передает по наследству признаки, реагирует на внешние раздражители и способна к движению. Усилиями ученых М. Шлейдена и Т. Шванна в 1838-1839 гг. была создана *клеточная теория*, дополненная Р. Вирховым.

В настоящее время клеточная теория включает в себя следующие положения:

1. Клетка – элементарная единица живого, способная к самообновлению, саморегуляции, самовоспроизведению и являющаяся единицей строения, функционирования и развития живых организмов.

2. Клетки всех живых организмов сходны по составу, строению и основным проявлениям жизнедеятельности.

3. Размножение клеток происходит путем деления исходной материнской клетки.

4. В многоклеточном организме клетки специализируются по функциям и образуют ткани, из которых построены органы и их системы, связанные между собой межклеточными, гуморальными и нервными способами регуляции.

Различают два основных типа организации клеток: *прокариотический* и *эукариотический*. Прокариотические клетки наиболее просто организованы, не имеют обособленного ядра (табл. 1). К прокариотам относятся архебактерии, эубактерии, цианобактерии (сине-зеленые водоросли). Эукариотические клетки представляют более высокий тип клеточной организации, они имеют обособленное ядро и представлены клетками растений, грибов и животных.

Таблица 1

Сравнительная характеристика прокариотических и эукариотических клеток

Прокариотические клетки	Эукариотические клетки
Малые размеры (0,5-3 мкм)	Более крупные размеры (10 мкм)
Отсутствует обособленное ядро	Имеется обособленное ядро
Генетический материал в виде кольцевой ДНК, не связанной с белками	Генетический материал в виде хромосом (ДНК + белки-гистоны)
Отсутствует развитая сеть мембран, нет мембранных органелл	Развита сеть мембран, имеются мембранные органеллы
Рибосомы – 70S*	Рибосомы – 80S*
Отсутствует клеточный центр	Имеется клеточный центр (искл. – высшие растения)
Не характерно внутриклеточное движение цитоплазмы	Характерно внутриклеточное движение цитоплазмы

* коэффициент седиментации, указывает на скорость осаждения при ультрацентрифугировании, зависит от молекулярной массы и формы частиц.

Строение эукариотической клетки. Типичная эукариотическая клетка состоит из трех компонентов: цитоплазматической мембраны (плазмалеммы), цитоплазмы и ядра (рис. 12).

Плазмалемма – двойной слой фосфолипидов с встроенными в него белками. Мембрана выполняет важные и весьма разнообразные функции: определяет и поддерживает форму клетки; защищает клетку от механических воздействий, проникновения повреждающих биологических агентов; осуществляет рецепцию многих молекулярных сигналов (например, гормонов); ограничивает внутреннее содержимое клетки; регулирует обмен веществ между клеткой и окружающей средой, обеспечивая постоянство внутриклеточного состава; участвует в формировании межклеточных контактов.

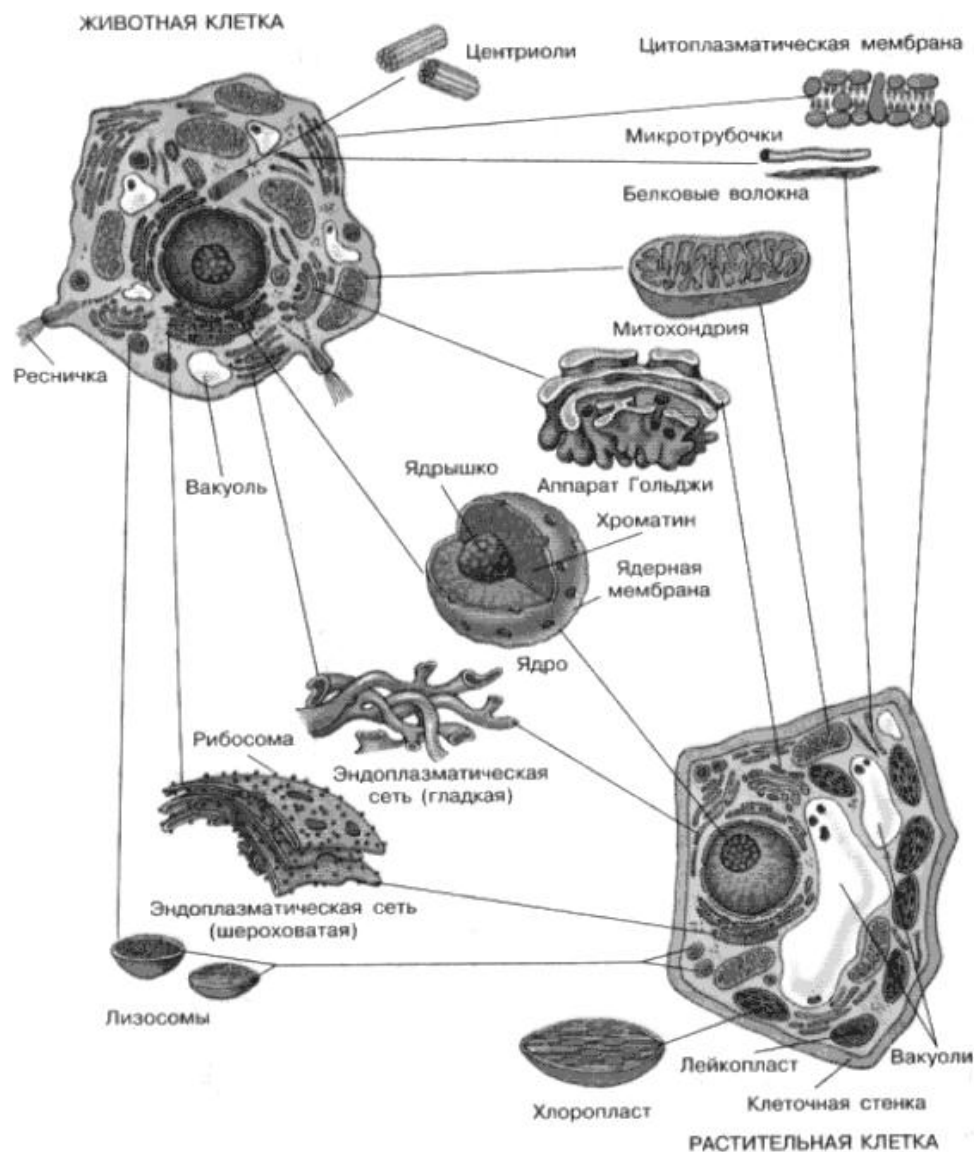


Рис. 12. Схема строения эукариотических клеток

Цитоплазма представляет собой внутреннее содержимое клетки и состоит из гиалоплазмы и находящихся в нем разнообразных внутриклеточных структур. *Гиалоплазма (матрикс)* – это водный раствор

неорганических и органических веществ, способный изменять свою вязкость и находящийся в постоянном движении.

Цитоплазматические структуры клетки представлены включениями и органоидами. *Включения* – относительно непостоянные, встречающиеся в клетках некоторых типов в определенные моменты жизнедеятельности, например, в качестве запаса питательных веществ (зерна крахмала, белков, капли гликогена) или продуктов, подлежащих выделению из клетки. *Органоиды* – постоянные и обязательные компоненты большинства клеток, имеющие специфическую структуру и выполняющие жизненно важную функцию.

Эндоплазматическая сеть. Вся внутренняя зона цитоплазмы заполнена многочисленными мелкими каналами и полостями, стенки которых представляют собой мембраны, сходные по своей структуре с плазматической мембраной. Эти каналы ветвятся, соединяются друг с другом и образуют сеть, получившую название эндоплазматической сети. Эндоплазматическая сеть неоднородна по своему строению. Известны два ее типа – *гранулярная* и *гладкая*. На мембранах каналов и полостей гранулярной сети располагается множество мелких округлых телец – рибосом, которые придают мембранам шероховатый вид. Мембраны гладкой эндоплазматической сети не несут рибосом на своей поверхности. Основная функция гранулярной эндоплазматической сети – участие в синтезе белка, который осуществляется в рибосомах. На мембранах гладкой эндоплазматической сети происходит синтез липидов и углеводов. Эндоплазматическая сеть связывает между собой основные органоиды клетки.

Аппарат Гольджи. В состав аппарата Гольджи входят полости, ограниченные мембранами и расположенные группами (по 5-10), и крупные и мелкие пузырьки, расположенные на концах полостей. Аппарат Гольджи выполняет много важных функций. По каналам эндоплазматической сети к нему транспортируются продукты синтетической деятельности клетки – белки, углеводы и жиры. Все эти вещества сначала накапливаются, а затем в виде крупных и мелких пузырьков поступают в цитоплазму и либо используются в самой клетке в процессе ее жизнедеятельности, либо выводятся из нее и используются в организме.

Митохондрии. Оболочка митохондрии состоит из двух мембран – наружной и внутренней. Наружная мембрана гладкая, она не образует никаких складок и выростов. Внутренняя мембрана, напротив, образует многочисленные складки, которые направлены в полость митохондрии. Складки внутренней мембраны называют *кристами*. Митохондрии называют «силовыми станциями» клеток так как их

основная функция – синтез аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), универсального источника энергии, необходимого для осуществления процессов жизнедеятельности клетки и целого организма.

Пластиды. В цитоплазме клеток всех растений находятся пластиды. В клетках животных пластиды отсутствуют. Различают три основных типа пластид: зеленые – хлоропласты; красные, оранжевые и желтые – *хромoplastы*; бесцветные – *лейкопласты*. В пластидах, как и митохондриях, имеется две мембраны: наружная (гладкая) и внутренняя, образующая выпячивания (*ламеллы и тилакоиды*). В хлоропластах имеется хлорофилл, основная их функция – фотосинтез.

Лизосомы – небольшие округлые тельца. Внутри лизосомы находятся ферменты, расщепляющие белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты. Обладая способностью к активному перевариванию пищевых веществ, лизосомы участвуют в удалении отмирающих в процессе жизнедеятельности частей клеток, целых клеток и органов.

Вакуоль – органелла, отграниченная от цитоплазмы мембраной – *тонопластом*. В животных клетках могут наблюдаться небольшие вакуоли, выполняющие фагоцитарную, пищеварительную, сократительную и другие функции. Растительные клетки имеют одну большую центральную вакуоль. Жидкость, заполняющая её, называется клеточным соком. Это концентрированный раствор сахаров, минеральных солей, органических кислот, пигментов и других веществ. Вакуоли накапливают воду, могут содержать красящие пигменты, защитные вещества, ферменты, запасные питательные вещества.

Обязательными для большинства клеток являются также органоиды, не имеющие мембранного строения. К ним относятся рибосомы, микрофиламенты, микротрубочки, клеточный центр.

Рибосомы обнаружены в клетках всех организмов. Это микроскопические тельца округлой формы диаметром 15-20 нм. Каждая рибосома состоит из двух неодинаковых по размерам частиц, малой и большой. В состав рибосом входят белки и РНК. Функция рибосом – это синтез белка.

Микротрубочки и микрофиламенты – нитевидные структуры, состоящие из различных сократительных белков и обуславливающие двигательные функции клетки. Микротрубочки имеют вид полых цилиндров, стенки которых состоят из белков – тубулинов. Микрофиламенты представляют собой очень тонкие, длинные, нитевидные структуры, состоящие из актина и миозина. Микротрубочки и микрофиламенты пронизывают всю цитоплазму клетки, формируя её цитоскелет.

Клеточный центр. Основную часть клеточного центра составляют два маленьких тельца – центриоли, расположенные в небольшом участке уплотненной цитоплазмы. Каждая центриоль имеет форму цилиндра длиной до 1 мкм. Центриоли играют важную роль при делении клетки; они участвуют в образовании веретена деления.

Ядро – наиболее важный компонент эукариотических клеток. В состав ядра входят ядерная оболочка и кариоплазма, содержащая хроматин (хромосомы) и ядрышки. *Ядерная оболочка* образована двумя мембранами (наружной и внутренней) и содержит многочисленные поры, через которые между ядром и цитоплазмой происходит обмен различными веществами. *Кариоплазма* (нуклеоплазма) представляет собой гелеобразный раствор, в котором находятся разнообразные белки, нуклеотиды, ионы, а также хромосомы и ядрышко. *Ядрышко* – небольшое округлое тельце, интенсивно окрашивающееся и обнаруживающееся в ядрах неделящихся клеток. Функция ядрышка – сборка субчастиц рибосом.

Хроматин образован молекулами ДНК в комплексе с белками. В процессе деления клеток происходит спирализация ДНК и хроматиновые структуры образуют *хромосомы*. Обычно в ядрах клеток тела (соматических) хромосомы представлены парами, в половых клетках они не парны. Одинарный набор хромосом в половых клетках называют *гаплоидным* (n), двойной набор хромосом в соматических клетках – *диплоидным* ($2n$). Диплоидный набор хромосом клеток конкретного вида живых организмов, характеризующийся числом, величиной и формой хромосом, называют *кариотипом*.

Несмотря на единый принцип строения, между клетками эукариотических организмов разных царств имеются различия (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика эукариотических клеток

Признак	Клетки		
	Грибов	Растений	Животных
Клеточная стенка	Из хитина	Из целлюлозы	Нет
Крупная вакуоль	Есть	Есть	Нет
Хлоропласты	Нет	Есть	Нет
Способ питания	Гетеротрофный	Автотрофный	Гетеротрофный
Центриоли	У некоторых видов	У низших растений, мхов, папоротников	Есть
Резервный питательный углевод	Гликоген	Крахмал	Гликоген

Рост и размножение организмов связаны с делением клеток. Существует два основных способа деления клеток. *Митоз* – это такое деление клеточного ядра, при котором образуются два дочерних ядра с наборами хромосом, идентичными наборам родительской клетки. Например, за счет процессов митоза у человека постоянно возобновляется слущивающийся эпителий кожи. *Мейоз* – это деление клеточного ядра с образованием четырех дочерних ядер, каждое из которых содержит вдвое меньше хромосом, чем исходное ядро. За счет мейотического деления из диплоидных клеток образуются гаплоидные половые клетки, которые при слиянии (оплодотворении) восстанавливают диплоидный набор хромосом в одноклеточном зародыше – *зиготе*.

8.3. Механизм хранения и реализации наследственной информации

Воспроизводство себе подобных и наследование признаков осуществляются с помощью наследственной информации, которая хранится и передается с помощью *нуклеиновых кислот* – ДНК и РНК. Мономерами нуклеиновых кислот являются *нуклеотиды* – соединения, в состав которых входит:

1) *азотистое основание*. Различают два вида азотистых оснований: *пуриновые* (*аденин* и *гуанин*) и *пиримидиновые* (*урацил*, *тимин*, *цитозин*). В состав ДНК входят аденин, гуанин, тимин и цитозин. В РНК вместо тимина находится сходное по строению азотистое основание урацил;

2) *пятичленный углевод* (пентоза). В составе рибонуклеотидов имеется сахар *рибоза*, а в дезоксирибонуклеотидах входит углевод *дезоксирибоза*;

3) *остаток фосфорной кислоты*.

Нуклеотиды ДНК и РНК связаны между собой ковалентными связями и образуют полинуклеотидные цепи. Молекула РНК обычно одноцепочечная, исключение составляют РНК некоторых вирусов. Молекула ДНК состоит из двух цепей. Особенностью строения ДНК является то, что одна цепь полностью комплементарна второй цепи. Это связано с *комплементарностью* (взаимодополнением, взаимным структурным соответствием, рис. 13) азотистых оснований: аденина и тимина (*А* и *Т*), гуанина и цитозина (*Г* и *Ц*). Комплементарные цепи

образуют водородные связи, идут в противоположных направлениях (антипараллельны) и закручены одна вокруг другой (рис. 14).

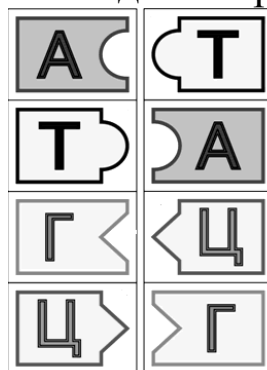


Рис. 13. Комплементарность азотистых оснований ДНК

Генетическая информация, содержащаяся в нуклеиновых кислотах, проявляется в образовании белков, которые делают возможным строение живого организма. *Белки* – полимеры, состоящие из мономеров – аминокислот (азотсодержащих органических соединений). В составе живых организмов имеется 20 аминокислот, образующих белки, но за счет большого количества звеньев белковой цепи (мономеров) число различных белков превышает сотни тысяч. Белки выполняют разнообразные функции в организме: ферментативную, защитную, структурную, двигательную, транспортную, энергетическую, запасующую и др.

Каждой аминокислоте, входящей в белок, соответствует определенный набор из нуклеотидов – так называемый «*триплет*». Реализация многообразной информации о свойствах организма осуществляется путем синтеза различных белков согласно *генетическому коду* (совокупности триплетов, соответствующих аминокислотам). Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одного белка, называют *геном*.

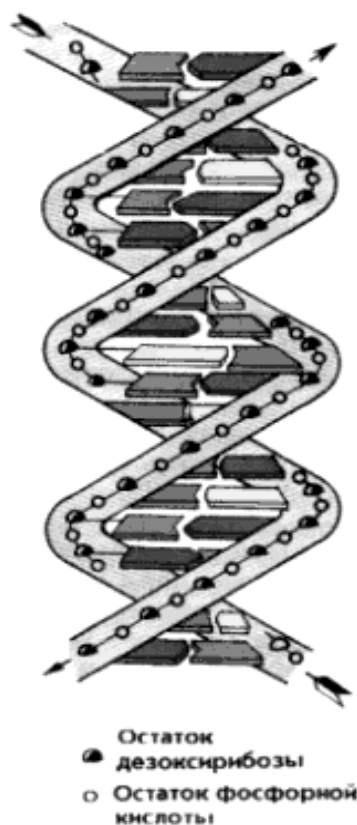


Рис. 14. Строение ДНК

Процесс воспроизведения и реализации генетической информации путем синтеза белка состоит из трех этапов: репликации, транскрипции, трансляции. *Репликация* – это удвоение молекулы ДНК, необходимое для последующего деления клеток. В основе способности клеток к самовоспроизведению лежат уникальное свойство ДНК самокопироваться и строго равноценное деление репродуцированных хромосом при митозе. После этого клетка может делиться на две идентичные. В ходе репликации ДНК распределяется на две цепи, а затем из нуклеотидов, находящихся в матриксе ядра, формируется вдоль каждой цепи еще одна цепь, ей комплементарная (рис. 15).

Вторая часть процесса воспроизводства – *транскрипция* – представляет собой синтез одноцепочечной молекулы *информационной РНК* (и-РНК) на матрице ДНК. Информационная РНК – копия части молекулы ДНК, одного или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции. Информационная РНК представляет собой своего рода посредника в передаче генетической информации из ядра (от ДНК) в цитоплазму (на рибосомы), где осуществляется синтез белка. Транскрипция также идет по принципу комплементарности, но при синте-

зе РНК вместо комплементарного аденину тимина в цепь встраивается урацил (рис. 16).

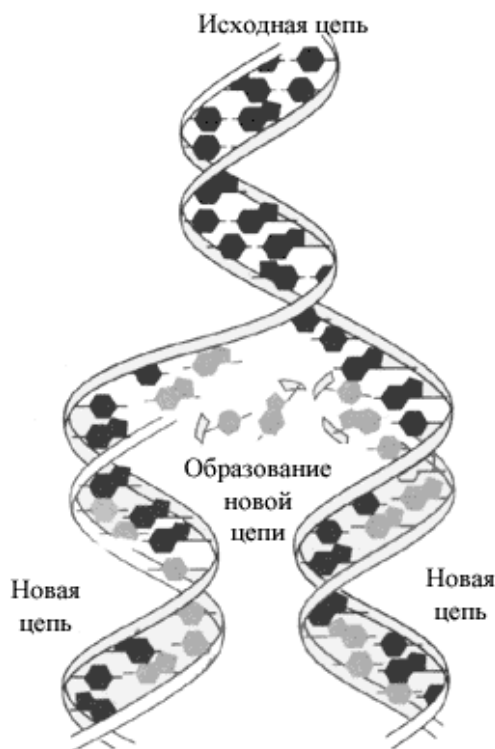


Рис. 15. Схема репликации ДНК

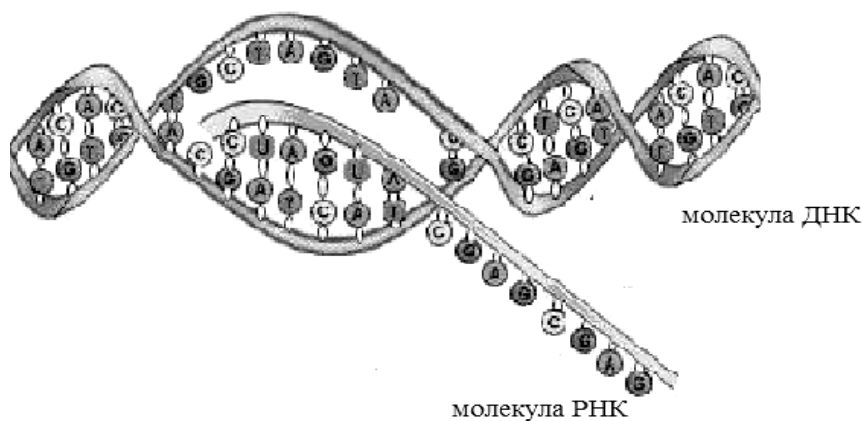


Рис. 16. Схема транскрипции

Третья часть процесса воспроизводства – *трансляция* – это синтез белка на рибосомах (рис. 17). В процессе транскрипции участвует РНК трех типов:

- 1) информационная (или матричная) РНК (иРНК, мРНК) предоставляет информацию о последовательности аминокислот в белке;
- 2) рибосомальная РНК (рРНК) входит в состав рибосом в комплексе с белками;

3) транспортная РНК (тРНК) связывает аминокислоты и доставляет их к месту синтеза белка. В строении тРНК выделяют антикодонную петлю, на которой расположен особый триплет – антикодон, комплементарный триплетам (кодонам) иРНК, и акцепторный стебель, к которому крепятся те аминокислоты, которые, согласно генетическому коду, соответствуют данному кодону. Поэтому процесс трансляции также идет по принципу комплементарности.

Таким образом, процесс передачи наследственной информации у большинства организмов идет по направлению: ДНК → РНК → белок.

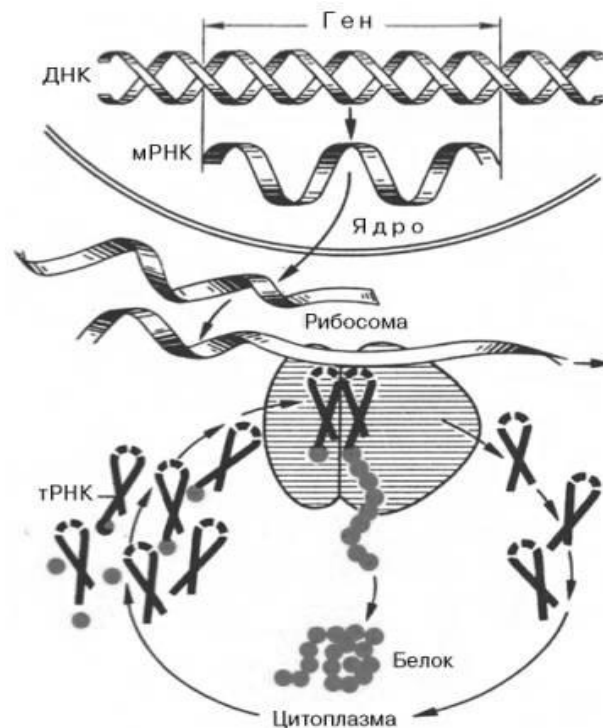


Рис. 17. Схема реализации наследственной информации путем транскрипции и трансляции

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите уровни организации живой материи.
2. Какие положения включает в себя клеточная теория?
3. Приведите сравнительную характеристику клеток эукариот и прокариот.
4. В чем сходство в строении митохондрий и хлоропластов?
5. Каково биологическое значение мейоза?
6. Сравните химический состав и структуру ДНК и РНК.
7. В чем проявляется принцип комплементарности? Для каких процессов он характерен?

ГЛАВА 9. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

9.1. Концепции происхождения жизни на Земле

Условно можно выделить следующие концепции, объясняющие происхождение жизни на Земле:

1. *Концепция креационизма* – божественного сотворения живого. Данная концепция относится, вероятно, к числу первых, зародившихся еще на заре человечества. Особого распространения концепция креационизма достигла в эпоху Средневековья. Представление о природе в этот период опиралось прежде всего на ветхозаветное сказание о сотворении мира; во всех явлениях природы видели проявление божественного промысла. Но и в настоящее время это учение не потеряло своих сторонников.

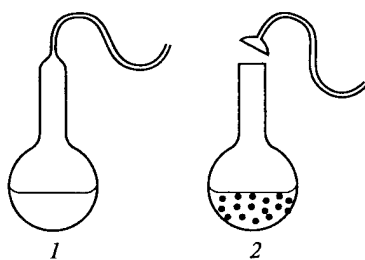
2. *Концепция многократного самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества*. В Древнем Египте существовало убеждение, что лягушки, жабы, змеи и даже крокодилы рождаются из слоя ила, который остается после разливов Нила. В Древнем Китае считали, что тля возникает на молодых побегах бамбука. Убеждение в спонтанном зарождении живых существ из неживых материалов было воспринято философами Древней Греции и Рима как нечто само собой разумеющееся. Самозарождение воспринимали как очевидный, постоянно наблюдаемый в природе факт. *Аристотель* подвел под эти «факты» определенное теоретическое толкование, рассматривая внезапное появление живых существ как результат воздействия некоего духовного начала на безжизненную, косную материю.

В Средние века *Я. ван Гельмонт*, голландский естествоиспытатель, предложил способ получения мышей, согласно которому, если открытый кувшин набить нижним бельем, загрязненным потом, и добавить туда некоторое количество пшеницы, то приблизительно через три недели появляется мышь, «поскольку закваска, находившаяся в белье, проникает через пшеничную шелуху и превращает пшеницу в мышь».

Развитие науки в эпоху Возрождения с ее экспериментальным подходом к изучению явлений природы поставило на повестку дня пересмотр с новых позиций идеи самозарождения живых существ. Итальянский врач *Ф. Реди* (1626-1698) решил проверить, действительно ли, как это всеми считалось, «черви» (личинки мух) зарождаются из гниющего мяса. Для этого он уложил мясо в три банки, одну из которых оставил открытой, вторую накрыл тонкой марлей, а третью –

пергаментом. Все три куска мяса начали гнить, но «черви» появились только в открытой банке. Этим простым экспериментом Реди показал, что «черви» не возникли из гниющего мяса, а появились лишь там, где мухи могли откладывать яйца непосредственно на мясо. Опыты Ф. Реди серьезно поколебали господствовавшую идею самозарождения макроскопических организмов.

После открытия А. ван Левенгуком микроорганизмов именно они стали основным объектом спора о зарождении жизни, поскольку логичным представлялось, что в первую очередь к самозарождению способны наиболее примитивно устроенные живые существа. Окончательный конец спору о самозарождении микроорганизмов положил Л. Пастер. Серией четко поставленных опытов он доказал, что микроорганизмы не возникают самопроизвольно. Особенно изящными были его опыты, проведенные в колбах с S-образными горлами (рис. 18). В такие колбы наливали подсахаренную дрожжевую воду. Если колбы прокипятить, а затем осторожно охладить, то они остаются стерильными неопределенно долгое время, несмотря на то, что не закрыты пробками. Если же удалить S-образный участок горла, то спустя несколько дней в такой колбе будет наблюдаться бурное развитие микроорганизмов. Через S-образное горло непрогретый воздух может легко поступать в колбу, но содержащиеся в воздухе микроорганизмы задерживаются в изгибах горла, оседая в его нижнем колене. После удаления S-образной части горла микроорганизмы прямо попадают в колбу, начинается их быстрый рост. Этим простым опытом Л. Пастер опроверг возражение о разрушении при нагревании таинственной «жизненной силы». Он неопровержимо доказал, что «самозарождение» в большинстве опытов происходит в результате попадания в стерилизованные питательные среды микроорганизмов из воздуха.



*Рис. 18. Опыт Л. Пастера в колбах с S-образными горлами:
1 – колба с подсахаренной дрожжевой водой после стерилизации
и охлаждения остается стерильной в течение длительного времени;
2 – та же колба через 48 ч после удаления изогнутого горла;
наблюдается рост микроорганизмов*

3. *Концепция стационарного состояния жизни.* Согласно этой концепции, жизнь на Земле существовала все время в неизменной форме. Эта концепция в настоящее время полностью опровергнута данными палеонтологии: в наиболее древних архейских породах признаков жизни не обнаруживается, в то время как в вендских и еще более молодых отложениях биоразнообразие возрастает.

4. *Концепция панспермии.* Опыты Л. Пастера, поставленные во второй половине XIX в., показали невозможность в современных условиях Земли зарождения жизни. Это в какой-то мере привело к возникновению идей панспермии, согласно которым жизнь на Земле вообще никогда не зарождалась, а была занесена из космического пространства, где она существовала в виде зародышей. Наиболее характерными сторонниками этих представлений выступили *Г. Гельмгольц* и *С. Аррениус*, хотя ранее подобные идеи высказывались *Ю. Либихом*. По С. Аррениусу, частицы живого вещества – споры или бактерии, осевшие на микрочастицах космической пыли, – силой светового давления переносятся с одной планеты на другую, сохраняя свою жизнеспособность. При попадании спор на планету с подходящими условиями для жизни они прорастают и дают начало биологической эволюции.

Нужно признать, что данная концепция не дает ответа на вопрос о происхождении жизни. Эта гипотеза не объясняет первоначального возникновения космических спор или зародышей, а просто истоки жизни выносит в просторы Вселенной. В настоящее время ни у кого не вызывает сомнения возможность существования жизни в других частях Вселенной, однако вероятность занесения на Землю живых организмов из космического пространства не имеет пока никаких подтверждений.

5. *Концепция биохимической эволюции.* В XX в. внимание к проблеме происхождения жизни было привлечено советским биохимиком *А. И. Опариным* и английским исследователем *Дж. Холдейном*, которые выдвинули предположение, что жизнь возникла в результате взаимодействия органических соединений, образовавшихся в бескислородных условиях на первобытной Земле. Известно, что атмосфера древней Земли имела восстановительный характер и состояла из смеси метана, водорода, аммиака, паров воды.

Органические вещества могли создаваться в океане из этих простых соединений; энергию для этих реакций синтеза, вероятно, доставляла интенсивная солнечная радиация (главным образом, ультра-

фиолетовая), падавшая на Землю до того, как образовался слой озона, который стал задерживать большую ее часть. По мнению Опарина, разнообразие находившихся в океане простых соединений, площадь поверхности Земли, доступность энергии и масштабы времени позволяют предположить, что в океанах постепенно накопились органические вещества и образовался тот «первичный бульон», в котором могла возникнуть жизнь.

В 1953 г. С. Миллер в ряде экспериментов моделировал условия, предположительно существовавшие на первобытной Земле. В созданной им установке, снабженной источником энергии, ему удалось синтезировать многие вещества, имеющие важное биологическое значение, в том числе ряд аминокислот, аденин и простые сахара, такие как рибоза.

После того как углеродистые соединения образовали «первичный бульон», могли уже организовываться *биополимеры* – белки и нуклеиновые кислоты, обладающие свойством самовоспроизводства себе подобных. Необходимая концентрация веществ для образования биополимеров могла возникнуть в результате осаждения органических соединений на минеральных частицах, например, на глине или гидроокиси железа, образующих или прогреваемого Солнцем мелководья. Кроме того, органические вещества могли образовать на поверхности океана тонкую пленку, которую ветер и волны гнали к берегу, где она собиралась в толстые слои. В химии известен также процесс объединения родственных молекул в разбавленных растворах.

Благодаря амфотерности белковых молекул, они способны к образованию коллоидных гидрофильных комплексов – притягивают к себе молекулы воды, создающие вокруг них оболочку. Эти комплексы могут обособляться от всей массы воды, в которой они суспендированы (водной фазы), и образовывать своего рода эмульсию. Слияние таких комплексов друг с другом приводит к отделению коллоидов от водной среды – процесс, называемый *коацервацией*.

Предполагается, что в самих коацерватах входящие в их состав вещества вступали в дальнейшие химические реакции; при этом происходило поглощение коацерватами ионов металлов и образование ферментов. На границе между коацерватами и внешней средой выстраивались молекулы липидов (сложные углеводы), что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коацерватам стабильность. В результате способности к самовоспроизведению и внутренней перестройке покрытого липидной оболочкой

коацервата могла возникнуть *примитивная клетка*. Увеличение размеров коацерватов и их фрагментация, возможно, вели к образованию идентичных коацерватов, которые могли поглощать больше компонентов среды, так что этот процесс мог продолжаться. Такая продолжительная последовательность событий должна была привести к возникновению примитивного самовоспроизводящего гетеротрофного организма, питавшегося органическими веществами первичного бульона.

Вероятно, автотрофные организмы возникли позднее, под влиянием конкуренции за готовые питательные вещества. В этих условиях должен был идти отбор на способность к синтезу органических соединений из неорганических путем преобразования энергии солнечного света или энергии химических связей (то есть на способность к фотосинтезу или хемосинтезу, соответственно).

9.2. Основные этапы эволюции органического мира

Возникновение эукариот – это следующий важнейший рубеж в эволюции организмов после возникновения фотосинтеза. Имеются две основные точки зрения на проблему происхождения эукариотической клетки и соответственно эукариот как одной из высших таксономических групп. Первая из них – так называемая *аутогенная концепция* – предполагает постепенную дифференциацию прокариотической клетки, в ходе которой развился мембранный комплекс. Сначала могла возникнуть наружная клеточная мембрана, затем ее локальные впячивания внутрь клетки образовали внутриклеточные мембраны и органеллы.

Вторая точка зрения (*концепция симбиогенеза*) получила широкую известность после работ Л. Маргулис, в 1967-1971 гг. обосновавшей гипотезу о возникновении эукариотической клетки из симбиоза разных прокариот: крупной клетки – хозяина — и более мелких организмов, поселившихся в цитоплазме первого. Последние дали начало различным органоидам. Аргументы в пользу этой точки зрения сводятся к наличию в некоторых органоидах эукариотической клетки (митохондрии, пластиды) собственной ДНК, РНК и рибосом.

Первые *многоклеточные животные и растения* появились на Земле 700-900 млн. лет назад. У растений возникновение многоклеточного уровня организации, вероятно, произошло на основе *дифференциации лентообразных колоний*, образовавшихся путем бокового

срастания прикрепленных нитчатых форм. У колоний, прикрепленных одним концом к субстрату, различные участки находились в разных условиях по отношению к падающему свету, субстрату и водной среде. В связи с этим естественный отбор благоприятствовал возникновению некоторой дифференциации частей колонии. В результате формировались многоклеточные органы, выполнявшие разные функции (фиксация на субстрате, фотосинтез, размножение).

По вопросу происхождения *многоклеточных животных* имеется две основные точки зрения. Э. Геккель создал гипотезу *гастреи*. Он считал, что предками многоклеточных животных были плавающие шарообразные колонии простейших, один полюс которых инвагинировал по направлению к другому, образуя два пласта клеток. Такой гипотетический организм Геккель назвал гастреей, так как по строению он напоминал двуслойный зародыш – гастролу.

И. И. Мечников доработал теорию Геккеля и создал гипотезу *фагоцителлы*. Он предположил, что образование слоев происходило не путем инвагинации, а посредством миграции некоторых клеток из однослойной стенки тела внутрь. Эти клетки образовали рыхлое внутреннее скопление (*фагоцитобласт*), функцией которого стало обеспечение всего организма пищей, включая ее переваривание и распределение, тогда как поверхностный слой клеток осуществлял функции защиты и движения организма. Этот гипотетический организм был назван Мечниковым фагоцителлой.

Основные пути эволюции растений и животных необходимо рассматривать в масштабах геологического времени. Вся история Земли разделена на крупные временные промежутки – геологические эры и периоды. Границы между ними определяются по крупным геологическим преобразованиям, изменениям флоры и фауны (табл. 3).

Таблица 3

Геохронологическая шкала

Эра	Период	Возраст, млн.лет	Эволюция растений и грибов	Эволюция животных
1	2	3	4	5
Архей		4000-2500	Появление первых прокариот (бактерий, сине-зеленых водорослей). Появление фотосинтезирующих организмов	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Протерозой	Ранний	2500-1600	Возникновение эукариот	
	Поздний	1600-570	Выделение из ствола эукариот зеленых, бурых, красных водорослей, грибов	Появление простейших. Появление первых многоклеточных. Выделение типов: кишечнорастворимые, губки, плоские и кольчатые черви и др.
Палеозой	Кембрий	570-500	Формирование бактериально-водорослевых образований в переходной зоне между морем и сушей; первичное почвообразование	Появление всех известных типов беспозвоночных (членистоногих, моллюсков и др.). Расцвет трилобитов. Появление хордовых
	Ордовик	500-440	Развитие высших водорослей	Появление первых позвоночных, в том числе бесчелюстных
	Силур	440-405	Выход растений – псилофитов на сушу. Выход на сушу грибов	Появление челюстноротых (древнейших рыб). Выход членистоногих на сушу
	Девон	405-350	Возникновение мхов, плаунов, хвощей, папоротников	Появление аммонитов, белемнитов. Появление костных, двоякодышащих, кистеперых рыб. Бескрылые насекомые, клещи, пауки. Появление стегоцефалов – первых амфибий
	Карбон	350-285	Гигантские плауны, папоротники, появление голосеменных – кордаитов, гинкговых и хвойных	Появление крылатых насекомых (стрекозы, тараканы, прямокрылые). Расцвет древних полуводных амфибий. Появление первых рептилий (котилозавры)

1	2	3	4	5
	Пермь	285-245	Вымирание гигантских плаунов, хвощей	Появление бесхвостых амфибий. Великое вымирание морской фауны – трилобитов, древних рыб, моллюсков
Мезозой	Триас	245-200	Развитие голосеменных	Появление первых млекопитающих. Расцвет рептилий, появление крокодилов, черепах
	Юра	200-137	Преобладание голосеменных и древовидных папоротников. Появление предков покрытосеменных	Эра динозавров. Появление предков птиц.
	Мел	137-67	Появление покрытосеменных растений. Вымирание папоротников и голосеменных (кроме хвойных)	Появление сумчатых и плацентарных. Появление змей. Вымирание динозавров
Кайнозой	Палеоген	67-25	Развитие цветковых растений	Появление копытных, грызунов, зайцеобразных, хоботных, сирен, китов и др.
	Неоген	25-1,6	Иссушение климата, появление лесостепей, саванн, степей	Появление хищных: саблезубых кошачьих, медведей, куньих
	Четвертичный	1,6-0	Появление холодоустойчивых трав и кустарников. Появление листопадных и хвойных лесов в Евразии и Северной Америке	Расцвет и вымирание мамонтов, шерстистых носорогов. Формирование современных видов. Появление человека разумного

9.3. Основные закономерности микроэволюции

Эволюционные изменения признаков и свойств организмов обусловлены изменением генотипов, поэтому понимание основных генетических процессов, происходящих в популяции, необходимо для всей современной эволюционной теории. Изучение роли разнообразных проявлений изменчивости в эволюции позволило сформулировать представление о *генетических основах эволюции*.

Изменчивость – свойство организмов изменяться из поколения в поколение и существовать в различных формах. Выделяют *наследственную (генотипическую)* изменчивость, которую делят на *комбинативную и мутационную*, и *ненаследственную (модификационную, фенотипическую)*.

В основе *комбинативной изменчивости* лежат: 1) кроссинговер, в результате которого возникают рекомбинантные хромосомы; 2) случайное расхождение хромосом при мейозе, обеспечивающее различное сочетание аллелей родительских форм; 3) случайное сочетание гамет при оплодотворении, обеспечивающее формирование различных генотипов в потомстве. Комбинативная изменчивость является важнейшим источником всего колоссального наследственного разнообразия, характерного для живых организмов. Однако перечисленные источники изменчивости не порождают существенных для выживания стабильных изменений в генотипе, которые необходимы, согласно эволюционной теории, для возникновения новых видов. Такие изменения возникают в результате мутаций.

Мутационная изменчивость. Мутации – это внезапные наследуемые изменения генетического материала. По характеру изменения генома, то есть совокупности генов, заключенных в гаплоидном наборе хромосом, различают *генные, хромосомные и геномные мутации*.

Генные, или точковые, мутации – результат изменения нуклеотидной последовательности в молекуле ДНК (вследствие выпадения, удвоения, перестановки нуклеотидов) в пределах одного гена. Такое изменение в гене воспроизводится при транскрипции в структуре иРНК; оно приводит к изменению последовательности аминокислот в полипептидной цепи, образующейся при трансляции на рибосомах. В результате синтезируется другой белок, что ведет к изменению соответствующего признака организма. Это наиболее распространенный вид мутаций и важнейший источник наследственной изменчивости организмов.

Хромосомные мутации (перестройки, или аберрации) – это изменения в структуре хромосом. Известны перестройки разных типов: *нехватка*, или *дефиценси*, – потеря концевых участков хромосомы; *делеция* – выпадение участка хромосомы в средней ее части; *дупликация* – удвоение генов, локализованных в определенном участке хромосомы; *инверсия* – поворот участка хромосомы на 180°; *транслокация* – изменение положения какого-либо участка хромосомы в хромосомном наборе.

Геномные мутации – изменение числа хромосом в геноме клеток организма. Различают следующие формы геномных мутаций: полиплоидию, анеуплоидию, аллоплоидию. *Полиплоидия* – кратное увеличение гаплоидного набора хромосом. Клетки с разным числом гаплоидных наборов хромосом называются триплоидными ($3n$), тетраплоидными ($4n$) и т. д. *Анеуплоидия*, или *гетероплодия*, – явление, при котором клетки организма содержат измененное число хромосом, не кратное гаплоидному набору. Анеуплоиды возникают тогда, когда не расходятся или теряются отдельные гомологичные хромосомы в митозе и мейозе. *Аллоплоидия* – явление объединения геномов двух разных видов. Примером аллоплоидии у животных является мул (гибрид осла и кобылы) и лошак (гибрид жеребца и ослицы).

Фенотипическая изменчивость – изменение свойств и признаков организма под действием факторов внешней среды. Она не затрагивает генотип, но определяется им. Наибольшему изменению под действием среды подвержены количественные признаки (молочность коров, яйценоскость кур, масса и размеры животных), однако имеются примеры и изменения качественных признаков (выстриженная белая шерсть горностаевых кроликов при содержании животного в холоде заменяется на вновь отросшую черную). Пределы варьирования признака называются *нормой реакции*.

Таким образом, наследуется не сам признак, а норма реакции, проявляющаяся в фенотипе определенным образом в зависимости от факторов среды. При этом наследственная реализация каждого признака или свойства определяется не одним, а многими генами (полимерия в действии генов), с другой стороны, любой ген оказывает влияние не на один, а на многие признаки (плейотропное действие гена). Границы характерной для данного генотипа нормы реакции могут быть выражены, таким образом, лишь совокупностью фенотипов, развившихся из этого генотипа при всех возможных условиях среды.

Элементарной единицей эволюции являются популяции, а не особи. Это связано с тем, что наследственные изменения, необходимые для эволюционного процесса, должны быть переданы следующему поколению, а это осуществимо только в пределах популяции. В природных популяциях наблюдается изменение частот генов, генотипов и фенотипов под влиянием давления элементарных факторов эволюции:

1. *Мутационный процесс* – постоянно действующий элементарный эволюционный фактор. Эволюционное значение мутационного процесса определяется прежде всего тем, что он постоянно поддерживает высокую степень гетерогенности природных популяций – основу для действия естественного отбора. Мутационный процесс – фактор-поставщик эволюционного материала. Мутационный процесс ведет к возникновению части того резерва наследственной изменчивости, который определит в будущем возможность приспособления популяции к разнообразным факторам среды.

2. *Популяционные волны* (волны жизни). Действие волн жизни как эволюционного фактора предполагает неизбирательное, случайное уничтожение особей, благодаря чему редкий перед колебанием численности аллель (ген) может сделаться обычным и подхвачен в дальнейшем естественным отбором. Теоретические расчеты показывают, что влияние популяционных волн может быть особенно заметно в популяциях очень малой величины, обычно при численности размножающихся особей не более 500. Именно в этих условиях волны жизни могут как бы подставлять под действие естественного отбора редкие мутации или устранять довольно обычные варианты.

3. *Изоляция* – возникновение любых барьеров, ограничивающих панмиксию (свободное скрещивание). Различают *пространственную изоляцию*, когда части популяции разделяются географическими барьерами (рекой, горными хребтами), и *биологическую изоляцию*, когда скрещивание и воспроизведение затрудняется поведенческими, экологическими, анатомо-физиологическими и другими особенностями особей. Изоляция как эволюционный фактор не создает новых генотипов и внутривидовых форм. Значение изоляции состоит в том, что она закрепляет и усиливает начальные стадии генотипической дифференцировки, а также в том, что разделенные барьерами части популяции неизбежно попадают под различное давление естественного отбора. Изоляция ведет к сохранению специфичности генофонда популяции.

Сочетание таких элементарных эволюционных факторов, как популяционные волны и изоляция, может приводить к генетико-автоматическим процессам, дрейфу генов. Если небольшая популяция оказывается изолированной, то проявляется эффект, названный «принципом основателя». Генофонд малочисленной популяции беднее, чем генофонд родительского вида, и подбор аллелей в «популяции основателей» случаен из-за случайного подбора особей. Такой генофонд не сбалансирован, и его судьба определяется прежде всего действием случайных факторов. Это обедняет и значительно изменяет генофонд малой изолированной популяции – происходит дрейф генов.

Борьба за существование и естественный отбор. Ч. Дарвин обосновал принцип естественного отбора, исходя из двух основных предпосылок: 1) наследственной гетерогенности особей; 2) изначальной избыточной численности потомства при стационарной общей численности вида в целом. Эти предпосылки создают условия для борьбы за существование и повышение спектра появляющихся на свет наследственно разнообразных особей – материала для естественного отбора. Борьба за существование охватывает *все формы активности особей*, направленные на поддержание жизни и размножение. В настоящее время *борьба за существование* рассматривается как *экологическая предпосылка естественного отбора*.

Ч. Дарвин определил естественный отбор как «выживание наиболее приспособленных», но нужно понимать, что важно не столько выживание, сколько дифференциальное размножение. Главное значение в эволюции имеет вклад каждой особи в генофонд популяции, то есть оставление многочисленного потомства. Сам факт выживания особи до старости без оставления потомства не будет иметь последствий для эволюции. Таким образом, под естественным отбором нужно понимать *дифференциальное воспроизведение генных комплексов*.

Формы естественного отбора. Выделяют около 30 различных форм естественного отбора, из которых основными можно назвать три: стабилизирующий, направленный и дизруптивный.

Стабилизирующий отбор – форма естественного отбора, направленная на поддержание и повышение устойчивости реализации в популяции среднего, ранее сложившегося значения признака или свойства. При стабилизирующем отборе преимущество в размножении получают особи со средним выражением признака (такой отбор поэтому образно называют «выживанием заурядностей»). Действие

стабилизирующего отбора можно пояснить на примерах. Так, после снегопада и сильных ветров в Северной Америке было найдено 136 оглушенных и полуживых домовых воробьев; 72 из них выжили, а 64 погибли. У погибших птиц были очень длинные или очень короткие крылья. Особи со средними – «нормальными» – крыльями оказались более выносливыми.

Направленной формой отбора принято называть отбор, способствующий сдвигу среднего значения признака или свойства. Результатом действия направленного отбора является постепенное изменение популяции в целом, происходящее посредством преобразования популяционного генофонда. Одним из ярких примеров действия направленного отбора является развитие так называемого «индустриального меланизма», описанного более чем у 70 видов бабочек, распространенных в Англии и ряде других стран Европы, а также в США. Индустриальный меланизм представляет собой значительное повышение частоты встречаемости меланистических (имеющих темную окраску) особей в тех популяциях бабочек, которые обитают в промышленных районах. Особенно хорошо изучено это явление у березовой пяденицы в Англии.

До середины XIX в. в популяциях этого вида преобладали особи, имевшие светлую серовато-белую окраску с темными пятнышками, хорошо маскирующую бабочек на покрытых лишайниками стволах деревьев. В 1848 г. в Манчестере был отловлен первый экземпляр бабочки, имевший меланистическую окраску. С тех пор частота встречаемости меланистических особей в популяциях этой бабочки, обитающих в промышленных районах Англии, постепенно возрастала, пока к началу XX в. количество меланистов не достигло в отдельных популяциях 95% всех особей.

С развитием промышленности загрязнение воздуха вокруг промышленных центров привело к гибели лишайников на стволах деревьев, которые потемнели от копоти. В этих условиях меланистические формы бабочек оказались в лучших условиях, чем особи со светлой окраской, поскольку первые менее заметны на темных стволах деревьев, чем вторые. Это и определило быстрое увеличение концентрации бабочек-меланистов в популяциях промышленных районов.

Дизруптивный отбор направлен против особей со средним и промежуточным характером признаков и ведет к установлению полиморфизма в пределах популяций. Популяция как бы «разрывается»

по данному признаку на несколько групп. Поэтому дизруптивный отбор называется также разрывающим, или расчленяющим. Разрывающий, или дизруптивный, отбор действует в том случае, когда условия благоприятствуют двум или нескольким крайним вариантам (направлениям) изменчивости, но не благоприятствуют промежуточному, среднему состоянию признака.

Примером действия дизруптивного отбора является формирование ранне- и позднецветущих форм растения погремка. На горных субальпийских лугах сроки цветения и плодоношения погремка растянуты в течение лета. С развитием скотоводства картина существенно изменилась: в середине лета луга скашивали, поэтому погремки семян не оставляли. В результате на скашиваемых лугах возникли две формы – весенняя и летне-осенняя.

9.4. Видообразование и основные закономерности макроэволюции

Микроэволюционные процессы, протекающие в популяциях, могут приводить к возникновению новых видов – центральному и важнейшему этапу эволюции живого на Земле. С появлением нового вида исчезает возможность нивелировки, сглаживания различий, достигнутых в процессе микроэволюции отдельными популяциями и их группами.

Различают две основные *формы видообразования*: аллопатрическое и симпатрическое. В основе *аллопатрического видообразования* лежат те или иные формы пространственной изоляции, и этот путь видообразования всегда сравнительно медленный, происходящий на протяжении сотен тысяч поколений. При обособлении популяции обмен наследственной информацией («поток генов») между нею и остальными популяциями прекращается. Генофонд изолированной популяции становится самостоятельным. Постепенно в генофонде изолированной популяции происходит накопление новых мутаций. Специфика местных условий и соответствующее направление отбора усугубляют особенности генофонда изолированной популяции. Поэтому мутации, накапливающиеся в ее генофонде, будут в той или иной степени отличаться от мутаций, которые за это же время закрепятся в других популяциях родительского вида.

Если географическая изоляция достаточно продолжительна, а направления отбора достаточно различны, то изолированная по-

пуляция приобретает отчетливые различия с родительским видом, снижающие возможность скрещивания, вплоть до возникновения репродуктивной изоляции (то есть нескрещиваемости в природных условиях) между ними. После возникновения той или иной формы репродуктивной изоляции обособленная популяция становится самостоятельным видом. Если теперь географический барьер, разделявший популяции, нарушится и вновь восстановится контакт между ними, эти два вида либо смогут сосуществовать в одном ареале, либо между ними возникнут конкурентные отношения и один из них будет вытеснять другой, если их биология осталась близкой.

При видообразовании *симпатрическим* путем новый вид возникает внутри ареала исходного вида. Симпатрическое видообразование должно основываться на высокой степени популяционного полиморфизма. При наличии такого полиморфизма в исходной популяции действие достаточно интенсивного разрывающего отбора, благоприятствующего наиболее уклонившимся морфам и элиминирующего все промежуточные состояния, может привести к снижению панмиксии и затем к обособлению устойчивых биологических рас, различающихся определенными экологическими особенностями.

Существует несколько особых форм симпатрического видообразования, обеспечивающих чрезвычайно быстрое обособление дочерней формы от родительского вида: *полиплоидизация*, *гибридогенез* (возникновение в результате гибридизации аллоплоидных форм) и так называемый *стасигенез* (обособление новых видов в результате крупномасштабных хромосомных мутаций). Во всех этих случаях новый вид сразу оказывается генетически изолированным от родительского, обитая на той же самой территории, и сохраняет свою обособленность, если является жизнеспособным в данных условиях.

Макроэволюция – эволюционные процессы и явления, протекающие на надвидовом уровне и приводящие к дифференциации более крупных таксонов – родов, семейств, классов, типов и т. д.

Среди форм макроэволюции можно выделить первичные – филетическую эволюцию и дивергенцию, лежащие в основе любых изменений таксонов, и вторичные – параллелизм и конвергенцию.

Филетическая эволюция – это изменения, происходящие в одном филогенетическом стволе. Развитие предков лошадей по прямой линии «фенакодус – эогиппус – миогиппус – парагиппус – плиогиппус – современная лошадь» – пример филетической эволюции В «чистом» виде (как эволюция без дивергенции, без расхождения) филе-

тическая эволюция может характеризовать лишь сравнительно короткие периоды эволюционного процесса.

Дивергенция – другая первичная форма эволюции таксона. В результате изменения направления отбора в разных условиях происходит расхождение ветвей древа жизни от единого ствола предков. Прекрасный пример дивергенции форм – возникновение разнообразных по морфофизиологическим особенностям вьюрков от одного или немногих предковых видов на Галапагосских островах.

Конвергенция – это процесс формирования сходного фенотипического облика особей двух или нескольких групп. Классическим примером конвергентного развития в зоологии считается возникновение сходных форм тела у акулловых, ихтиозавров и китообразных.

Параллелизм – формирование сходного фенотипического облика первоначально дивергировавшими и генетически близкими группами. Классическим примером параллельного развития считается развитие саблезубости у представителей разных подсемейств кошачьих.

Главными направлениями макроэволюции можно считать:

1. *Ароморфоз*, или морфофизиологический прогресс, то есть повышение уровня организации. Примером может служить теплокровность и живорождение у млекопитающих.

2. *Идиоадаптация (алломорфоз)* – выработка частных приспособлений. Сюда относятся все случаи прогрессивной эволюции без повышения уровня организации, например, развитие приспособлений, позволивших млекопитающим освоить воздушную (рукокрылые), водную (китообразные, ластоногие) и другие среды.

3. *Общая дегенерация, морфофизиологический регресс*, особенно характерный для паразитических форм, у которых упрощение организации сочетается с биологическим прогрессом.

Перечисленные закономерности микро- и макроэволюции, рассматриваемые с позиции генетики, экологии и других современных биологических наук, составляют основу *синтетической теории эволюции*. Основные ее положения в общих чертах можно выразить следующим образом:

1. Материалом для эволюции служат наследственные изменения – мутации.

2. Основным движущим фактором эволюции является естественный отбор, возникающий на основе борьбы за существование.

3. Наименьшей единицей эволюции является популяция.

4. Эволюция в большинстве случаев носит дивергентный характер, то есть один таксон дает начало нескольким дочерним таксонам.

5. Эволюция носит постепенный и длительный характер.

6. Вид состоит из множества морфологически, физиологически, экологически, генетически отличных, но репродуктивно не изолированных единиц – подвидов и популяций.

7. Вид – целостное образование. Целостность вида поддерживается миграциями особей из одной популяции в другую, при которых наблюдается обмен генами.

8. Закономерности макроэволюции сходны с законами микроэволюции.

9. Любой реальный таксон имеет монофилетическое происхождение (от единого предка).

10. Эволюция носит ненаправленный характер и не имеет какой-либо конечной цели.

Вопросы для самоконтроля

1. Опыты каких ученых опровергают концепцию самозарождения жизни?

2. Какие процессы, согласно теории биохимической эволюции, привели к образованию протоклетки?

3. Какие существуют доказательства в пользу симбиогенной теории происхождения эукариотических клеток?

4. Восстановите правильную последовательность эволюционных событий:

Возникновение эукариот.

Выход растений на сушу.

Появление покрытосеменных растений.

Появление млекопитающих.

Возникновение фотосинтеза.

5. Какая форма естественного отбора приводит к закреплению в популяции нового признака? К формированию полиморфизма? К выживанию особей со средним значением признака?

ГЛАВА 10. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

10.1 Основные понятия и закономерности экологии

Слово «экология» образовано из двух греческих слов: «oikos», что означает «дом, жилище», и «logos» – «наука», и дословно переводится как «наука о доме, местообитании». Впервые этот термин использовал немецкий зоолог Э. Геккель в 1886 году, определив экологию как область знаний, изучающую экономику природы, – исследование общих взаимоотношений животных как с живой, так и с неживой природой, включающей все как дружественные, так и недружественные отношения, с которыми животные и растения прямо или косвенно входят в контакт. Такое понимание экологии стало общепризнанным, и сегодня классическая *экология – это наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и с окружающей их средой.*

В зависимости от объекта исследования в экологии сформировались самостоятельные научные направления. По размерности объектов изучения экологию делят на *аутэкологию* (организм и его среда), *популяционную экологию*, или *демэкологию* (популяция и ее среда), *синэкологию* (сообщества и их среда). В зависимости от объекта изучения экологию подразделяют на экологию микроорганизмов, грибов, растений, животных, человека, агроэкологию, промышленную (инженерную), экологию человека и т. п. По средам и компонентам различают экологию суши, пресных водоемов, моря, пустынь и других географических пространств.

Рассмотрим основные понятия экологии.

Среда обитания – часть природы, непосредственно окружающая живые организмы и оказывающая прямое или косвенное влияние на их состояние, рост, развитие, размножение, выживаемость. На нашей планете организмы освоили четыре основные среды обитания: водную, наземно-воздушную, почвенную и тело другого организма, используемое паразитами и полупаразитами.

От понятия «среда обитания» следует отличать понятие «*условия существования*» – совокупность жизненно необходимых факторов среды, без которых живые организмы не могут существовать (свет, тепло, влага, воздух, почва).

Элементы окружающей среды, которые вызывают у живых организмов и их сообществ приспособительные реакции (адаптации), называются *экологическими факторами*. По происхождению и характеру действия экологические факторы подразделяются на *абиотиче-*

ские (элементы неорганической, или неживой, природы), биотические (формы воздействия живых существ друг на друга) и антропогенные (все формы деятельности человека, оказывающие влияние на живую природу).

Закономерности действия экологических факторов на организм. На рисунке 19 по оси абсцисс отложена интенсивность фактора (например, температура, освещенность, влажность почвы и т. д.), а по оси ординат – реакция организма на воздействие экологического фактора в его количественном выражении. Диапазон действия экологического фактора ограничен соответствующими крайними пороговыми значениями (*точки минимума и максимума*), при которых еще возможно существование организма. Эти точки называются *нижним и верхним пределами выносливости* (толерантности) живых существ по отношению к конкретному фактору среды.

Точка на оси абсцисс, соответствующая наилучшим показателям жизнедеятельности организма, означает наиболее благоприятную для организма величину воздействующего фактора – это *точка оптимума*. Для большинства организмов определить оптимальное значение фактора с достаточной точностью зачастую трудно, поэтому принято говорить о *зоне оптимума*, зоне нормальной жизнедеятельности. Крайние участки кривой, выражающие состояние угнетения организмов при резком недостатке или избытке фактора, называют *областями пессимума*, зонами угнетения. Вблизи критических точек лежат сублетальные величины фактора, а за пределами зоны выживания – летальные.

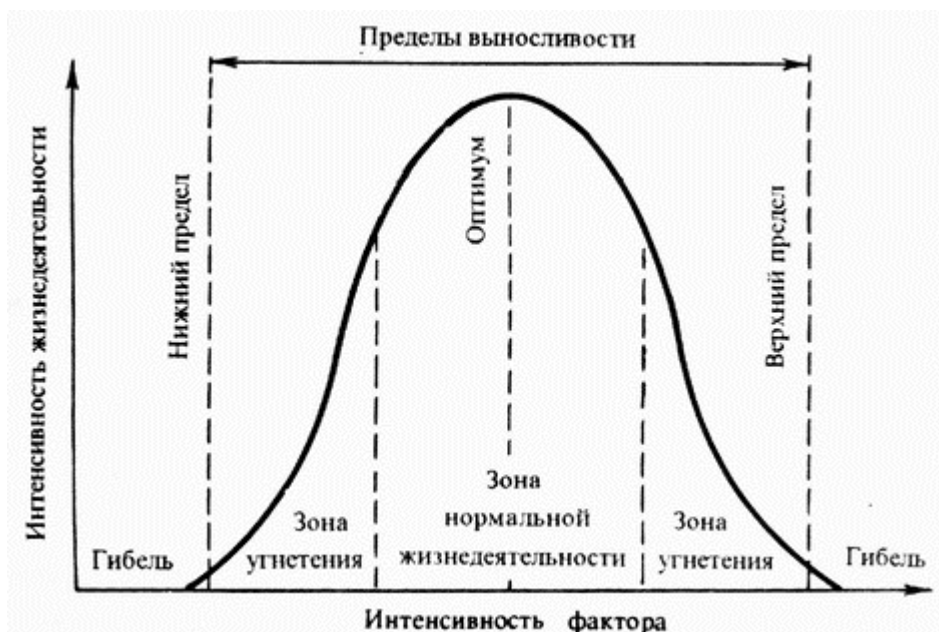


Рис. 19. Закономерности действия экологического фактора на организм

Организмы, для существования которых необходимы строго определенные, относительно постоянные условия среды, называют *стенобионтными*, а те, которые живут в широком диапазоне изменчивости условий среды, – *эврибионтными*. При этом организмы одного и того же вида могут иметь узкую амплитуду по отношению к одному фактору и широкую – к другому (например, приспособленность к узкому диапазону температур и широкому диапазону солености воды у морских животных). Способность организмов адаптироваться к определенному диапазону изменчивости факторов среды называют *экологической пластичностью*.

Экологические факторы воздействуют на живой организм совместно и одновременно. При этом действие одного фактора зависит от того, с какой силой и в каком сочетании действуют одновременно другие факторы. Эта закономерность получила название *взаимодействие факторов*. Например, жару или мороз легче переносить при сухом, а не при влажном воздухе. В некоторых случаях недостаток одного фактора частично компенсируется усилением другого. Явление частичной взаимозаменяемости действия экологических факторов называется *эффектом компенсации*. Вместе с тем ни один из необходимых организму экологических факторов не может быть полностью заменен другим. Отсутствие света делает жизнь растений невозможной, несмотря на самые благоприятные сочетания других условий. Поэтому если значение хотя бы одного из жизненно необходимых экологических факторов приближается к критической величине или выходит за ее пределы (ниже минимума или выше максимума), то, несмотря на оптимальное остальных условий, особям грозит гибель. Такие факторы называются *ограничивающими (лимитирующими)*.

Биогеоценозы и экосистемы. *Биоценоз* – исторически сложившаяся устойчивая совокупность популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, приспособленных к совместному обитанию на однородном участке территории или акватории. Термин «биоценоз» предложил немецкий зоолог К. Мебиус в 1877 г.

Составными частями биоценоза являются *фитоценоз* (устойчивое сообщество растений), *зооценоз* (совокупность взаимосвязанных видов животных), *мицоценоз* (сообщество грибов) и *микробоценоз* (сообщество микроорганизмов). Участок земной поверхности (суши или водоема) с однородными условиями обитания, занимаемый тем или иным биоценозом, называется *биотопом*.

Биогеоценоз – это однородный участок земной поверхности с определенным составом живых организмов (биоценоз) и определенными условиями среды обитания (биотоп), которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс. Во многих странах мира такие природные комплексы называют экологическими системами (*экосистемами*). Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тенсли. Термин «биогеоценоз» – В. Н. Сукачевым в 1942 г.

Биогеоценоз и экосистема – понятия сходные, но не тождественные. Понятие «экосистема» не имеет ранга и размерности, поэтому оно применимо как к простым (муравейник, гниющий пень) и искусственным (аквариум, водохранилище, парк), так и к сложным естественным комплексам организмов с их средой обитания. Биогеоценоз отличается от экосистемы определенностью объема, это экосистема, границы которой обусловлены характером растительного покрова, то есть определенным фитоценозом. Следовательно, любой биогеоценоз является экосистемой, но не всякая экосистема есть биогеоценоз.

Основу экосистемы составляют автотрофные организмы – *продуценты* (производители), которые в процессе фотосинтеза создают богатую энергией пищу – первичное органическое вещество. Готовые органические вещества используют для получения и накопления энергии гетеротрофы, или *консументы* (потребители). К гетеротрофам относятся растительноядные животные (консументы I порядка), плотоядные, живущие за счет растительноядных форм (консументы II порядка), потребляющие других плотоядных (консументы III порядка) и т. д. Особую группу составляют *редуценты* (разрушители, или деструкторы), разлагающие органические остатки продуцентов и консументов до простых неорганических соединений, которые затем используются продуцентами. К редуцентам относятся, главным образом, микроорганизмы – бактерии и грибы.

Перенос потенциальной энергии пищи, созданной растениями, через ряд организмов путем поедания одних видов другими называется *цепью питания* или пищевой цепью, а каждое ее звено – *трофическим уровнем*. Поскольку каждый организм имеет несколько источников питания и сам является объектом питания для других организмов из одной и той же пищевой цепи или даже из разных (всеядные организмы, например человек, медведь, воробей, потребляют как продуцентов, так и консументов, то есть живут на разных трофиче-

ских уровнях), цепи питания многократно разветвляются и переплетаются в сложные *пищевые сети*.

Существуют два основных типа пищевых цепей – *пастбищные* (цепи выедания, или цепи потребления) и *детритные* (цепи разложения). Пастбищные цепи начинаются с продуцентов, например: клевер → кролик → волк. Детритные цепи начинаются от растительных и животных остатков, экскрементов животных – детрита; идут к микроорганизмам, которые ими питаются, а затем к мелким животным (детритофагам) и к их потребителям – хищникам. Например, листовая подстилка → дождевой червь → черный дрозд → ястреб-перепелятник.

Пищевые связи в экосистеме можно изобразить в виде экологических пирамид (рис. 20).

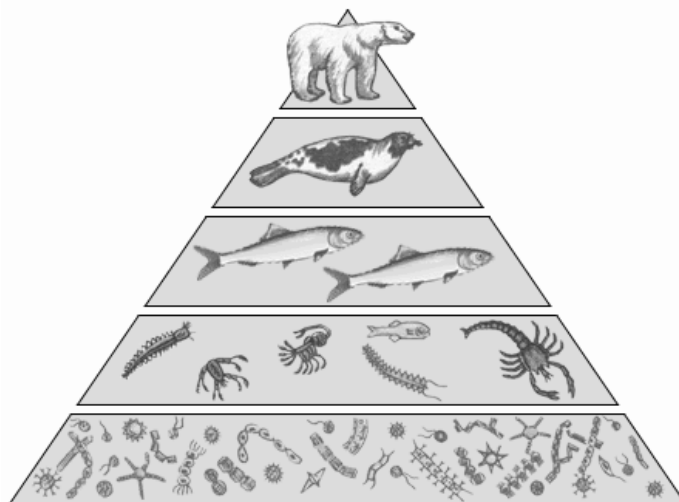


Рис. 20. Экологическая пирамида

1. Пирамида численностей отражает численное соотношение особей разных трофических уровней экосистемы. Если организмы в пределах одного или разных трофических уровней сильно различаются между собой по размерам, то пирамида численностей дает искаженные представления об истинных соотношениях трофических уровней. Например, в сообществе планктона численность продуцентов в десятки и сотни раз больше численности консументов, а в лесу сотни тысяч консументов могут питаться органами одного дерева – продуцента.

2. Пирамида биомасс показывает количество живого вещества, или биомассы, на каждом трофическом уровне. В большинстве наземных экосистем биомасса продуцентов, то есть суммарная масса

растений наибольшая, а биомасса организмов каждого последующего трофического уровня меньше предыдущего.

3. Пирамида энергии отражает величину потока энергии в цепи питания. На форму этой пирамиды не влияют размеры особей, и она всегда будет иметь треугольную форму с широким основанием внизу и сужающейся верхушкой. Это объясняется правилом 10% – с одного трофического уровня на другой переходит около 10% энергии, а остальная часть рассеивается в тепловую. Поэтому пирамида энергии дает наиболее полное и точное представление о функциональной организации сообщества, о всех обменных процессах в экосистеме.

Смены биогеоценозов во времени. Несмотря на то, что биогеоценоз является саморегулирующейся системой, стремящейся к устойчивому состоянию, последнее полностью не достигается. В результате ни один биогеоценоз не существует вечно, рано или поздно он сменяется другим. Такая последовательная, необратимая, направленная смена одного биогеоценоза другим называется *сукцессией*. В зависимости от состояния и свойств среды различают первичные и вторичные сукцессии.

Первичные сукцессии начинаются на лишенных жизни местах – на скалах, песчаных дюнах, наносах рек, застывших лавовых потоках и т. п. При заселении подобных участков такие неприхотливые к условиям среды живые организмы, как бактерии, цианобактерии, некоторые водоросли, накипные лишайники, необратимо изменяют свое местообитание и постоянно сменяют друг друга. Многие нитчатые цианобактерии поглощают из воздуха азот и обогащают им среду, еще малоприспособленную для жизни. Лишайники играют существенную роль в почвообразовательном процессе, так как, выделяя органические кислоты, они растворяют и разрушают горные породы, на которых поселяются, а за счет разложения их слоевищ происходит формирование почвенного гумуса. Бактерии путем расщепления органических веществ гумуса способствуют накоплению элементов минерального питания. Постепенно формируется почва, изменяется гидрологический режим участка, его микроклимат. Таким образом, лишайники и другие прокариоты и эукариоты создают условия для других, более совершенных организмов, в том числе высших растений и животных. Такая смена экосистемы длится тысячи лет.

Вторичные сукцессии развиваются на месте сформировавшихся экосистем после их нарушения в результате эрозии, вулканических извержений, пожаров, засухи и т. п. В таких местах обычно сохраняются

богатые жизненные ресурсы, что влечет за собой довольно быструю сукцессию восстановительного типа. Иногда подобные смены протекают на глазах одного поколения людей (зарастание водоемов, восстановление лугов после пожара или лесов после их вырубки и др.).

10.2. Учение В. И. Вернадского о биосфере

В процессе эволюции на Земле образовалась особая оболочка – *биосфера*. Биосфера является одной из геологических оболочек Земли, или геосфер. В состав биосферы входят верхние слои литосферы, нижний слой атмосферы (тропосфера) и вся гидросфера, связанные между собой сложными круговоротами веществ и энергии. Нижний предел жизни на Земле (до глубины 3 км) ограничен высокой температурой земных недр, верхний предел (20 км) – жёстким излучением ультрафиолетовых лучей (всё, что находится на высоте ниже 20 км, защищено от губительного излучения озоновым слоем). Тем не менее, на границах биосферы можно найти, в основном, лишь микроорганизмы (обычно в виде спор); наибольшая же концентрация биомассы наблюдается у поверхности суши и океана, в местах соприкосновения оболочек.

Термин «биосфера» первым ввёл в 1875 году Э. Зюсс, а учение о биосфере было создано в 1926 году В. И. Вернадским. В основе учения Вернадского лежат представления о планетарной геохимической роли живого вещества и о самоорганизованности биосферы.

Под биосферой Вернадский понимал тонкую оболочку Земли, в которой все процессы протекают под прямым воздействием живых организмов. Два главных компонента биосферы: сами живые организмы и среда их обитания – непрерывно взаимодействуют между собой и находятся в тесном, органическом единстве, образуя целостную динамическую систему. Вернадский выделяет в биосфере несколько типов вещества: *живое*, неживое (*косное*), *биогенное* (продукт трансформации живого вещества, например, уголь, нефть), *био-косное* (комплекс живых и косных тел, например, почва).

Живой организм является неотъемлемой частью земной коры и изменяющим ее агентом. Организмы усваивают из окружающей среды химические элементы, строящие их тела, и возвращают их в процессе жизни и после своей смерти в ту же самую среду. Таким образом, и жизнь, и косное вещество находятся в непрерывном, тесном взаимодействии, в бесконечном круговороте химических элементов.

При этом живое вещество служит основным системообразующим фактором и связывает биосферу в единое целое.

Функции живого вещества. Глобальными биогеохимическими функциями живого вещества являются энергетическая, газовая, концентрационная, окислительно-восстановительная и биохимическая. Энергетическая функция заключается в усвоении живым веществом преимущественно солнечной энергии и передаче ее по трофическим цепям. В основе этой функции лежит фотосинтетическая деятельность зеленых растений, образующих 98% всей первичной продукции планеты. *Газовая функция* осуществляется зелеными растениями, которые в процессе фотосинтеза выделяют кислород, растениями и животными, выделяющими при дыхании углекислый газ, а также многими бактериями, восстанавливающими азот, сероводород и др. Благодаря газовой функции сформировался современный состав атмосферы, значительно отличающийся от такового в добиосферный период. *Концентрационная функция* проявляется в способности живых организмов накапливать разные химические элементы, в том числе микроэлементы, из внешней среды (почвы, воды, атмосферы). Некоторые виды являются специфическими концентраторами химических элементов в количествах, в десятки и даже тысячи раз превышающих их содержание в среде. Так, бурые водоросли концентрируют йод, диатомовые водоросли и злаки – кремний, фиалки – цинк, моллюски и ракообразные – медь и т. п. *Окислительно-восстановительная функция* выражается в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности организмов. В почве, водной и воздушной среде образуются соли, окислы, новые вещества как результат окислительно-восстановительных реакций. С деятельностью микроорганизмов связано формирование железных и марганцевых руд, известняков и т. п. *Биохимическая функция* осуществляется в процессе обмена веществ в живых организмах (питания, дыхания, выделения) и разрушения отмерших организмов и продуктов их жизнедеятельности до простых неорганических веществ. Все это приводит к круговороту химических элементов в природе, их биогенной миграции.

10.3. Глобальные экологические проблемы

Противоречия во взаимоотношениях общества и природы во второй половине XX столетия стали угрожающими. Как биологический вид, человек своей жизнедеятельностью влияет на природную среду не больше, чем другие живые организмы. Однако это влияние

несравнимо с тем огромным воздействием, которое оказывает на природу хозяйственная деятельность человека. Преобразующее воздействие человеческого общества на природу неизбежно, оно усиливается по мере роста численности населения, в результате научно-технического прогресса, увеличения числа и массы веществ, вовлекаемых в хозяйственный оборот.

Деятельность человека, изменяющего природу, приобрела настолько крупные масштабы, что представляет угрозу существующему в природе равновесию и является препятствием для дальнейшего развития производительных сил общества. Нарушение человеком законов развития биосферы, взаимоотношений общества и природы приводит к многочисленным локальным и региональным экологическим кризисам, приближая глобальную экологическую катастрофу. Рассмотрим основные экологические проблемы.

Загрязнение атмосферы. Главными и наиболее опасными источниками загрязнения атмосферы являются промышленные, транспортные и бытовые выбросы. Вследствие деятельности человека в атмосферу поступают углекислый газ CO_2 и угарный газ CO , диоксид серы SO_2 , метан CH_4 , оксиды азота NO_2 , NO и N_2O . При использовании аэрозолей в атмосферу поступают хлорфторуглероды, в результате работы транспорта – углеводороды (бенз(а)пирен и др.). К наиболее опасным экологическим последствиям загрязнения атмосферы относят: кислотные осадки, смог, истощение озонового слоя, парниковый эффект.

Кислотные осадки – серная и азотная кислоты, образующиеся при растворении в воде диоксидов серы и азота и выпадающие на поверхность земли вместе с дождем, туманом, снегом или пылью. Попадая в озера, кислотные осадки нередко вызывают гибель рыб или всего животного населения. Они также могут вызывать повреждения листвы, а часто гибель растений, ускорять коррозию металлов и разрушение здания.

В атмосферном воздухе, в первую очередь, промышленных центров и городов в результате сложных химических реакций смеси газов (главным образом, окислов азота и углеводородов, содержащихся в выхлопных газах автомобилей), протекающих в нижних его слоях под действием солнечного света, образуются различные вещества, ядовитый туман. Такой ядовитый туман получил название «смог». Во время смога ухудшается самочувствие людей, резко увеличивается число легочных и сердечно-сосудистых заболеваний. Густой ядови-

тый туман, появляющийся в осенне-зимнее время, получил название *смога лондонского типа*. Его главным компонентом является сернистый газ. Более опасный тип смога – *фотохимический, или лос-анджелесский*, наблюдающийся в теплое время года, например, в Нью-Йорке, Бостоне, Детройте, Чикаго, Милане, Мадриде. Он возникает в воздухе, загрязненном выбросами автотранспорта, под действием солнечной радиации и в результате фотохимических реакций. Фотохимический смог вызывает раздражение глаз, слизистых оболочек носа и горла, обострение легочных и различных хронических заболеваний, приводит к болезни и гибели домашних животных, растений. Он вызывает коррозию металлов, растрескивание красок, резиновых и синтетических изделий, порчу одежды.

С антропогенными изменениями атмосферы связано и *разрушение озонового слоя*, который является защитным экраном от ультрафиолетового излучения. Особенно быстро процесс разрушения озонового слоя происходит над полюсами планеты, где появились так называемые озоновые дыры. Ученые считают, что одной из причин истощения озонового слоя (экрана) является применение людьми хлорфторуглеродов (фреонов), которые широко используются в производстве в виде аэрозолей, пенообразователей, растворителей и т. д. Хлорфторуглероды (CFCl_3 и CF_2Cl_2), попадая в атмосферу, разлагаются в стратосфере с выделением атомов хлора, которые катализируют превращение озона в кислород.

Быстрыми темпами растет в атмосфере содержание углекислого газа и метана. Эти газы обуславливают «*парниковый эффект*». Они пропускают солнечный свет, но частично задерживают тепловое излучение, испускаемое поверхностью Земли. За последние 100 лет концентрация в атмосфере углекислого газа выросла на 25%, а метана – на 100%. Это сопровождалось глобальным повышением температуры. Потепление может привести к интенсивному таянию ледников и повышению на 0,5-1,5 м уровня Мирового океана, при этом окажутся затопленными многие густонаселенные прибрежные районы.

В конце XX столетия огромную опасность представляет *радиоактивное загрязнение атмосферы*, да и биосферы в целом, в результате деятельности человека. Все острее встает проблема складирования и хранения радиоактивных отходов военной промышленности и атомных электростанций, хранения химического оружия. С каждым годом они представляют все большую опасность для окружающей среды.

Загрязнение гидросферы и проблема нехватки пресной воды. Пресная вода, доступная для использования, находится в реках, озерах и подземных водах. Ее доля от всей гидросферы составляет 0,3%. Ресурсы пресной воды распределены крайне неравномерно, часто обилие воды не совпадает с районами повышенной хозяйственной деятельности. В этой связи возникает проблема недостатка пресной воды. Она усугубляется все возрастающими объемами ее использования.

Сильно загрязняют пресные воды предприятия промышленности: химической, пищевой, целлюлозно-бумажной, черной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающей, строительных материалов, машиностроительной. Загрязнения в водоемы поступают при строительстве котлованов, тоннелей, метро, гидротехнических сооружений, при дренажных работах. Загрязняют воды транспорт (автомобильный, железнодорожный, воздушный, водный), водо-, тепло-, газокоммуникации, канализация. Важнейшим загрязнителем вод является сельскохозяйственное производство.

Опасность загрязнения пресных вод связана со складированием сырья, бытовых, промышленных и радиоактивных отходов, минеральных удобрений, ядохимикатов, нефтепродуктов. Загрязнение вод происходит при закачке в недра газов и жидкостей, заводнении нефтяных залежей, захоронении высокотоксичных отходов. Загрязнение пресных вод связано с военными учениями, испытаниями и ликвидацией ядерного, химического и других видов оружия.

Истощение запасов полезных ископаемых и загрязнение литосферы. Интенсивность добычи полезных ископаемых постоянно нарастает. Если за последние 25 лет население Земли увеличилось на 50%, то потребление угля возросло в 2 раза, железной руды – в 3, нефти и газа – почти в 6 раз. По прогнозам специалистов, при сохранении современных тенденций добычи, потребления и использования новых месторождений запасы нефти и газа истощатся через 70-140 лет. Таким образом, перспектива нехватки сырьевых ресурсов – реальная опасность для человечества, а энергетический голод не выдумка скептиков: некоторые страны уже испытывают недостаток энергетических ресурсов.

В настоящее время с горнопромышленным производством связывается поступление в природный кругооборот значительного количества техногенного вещества в виде горной массы, растворимых и летучих веществ – промышленных стоков, дымов и возгонов, а также высоких концентраций тяжелых металлов.

Горнопромышленное производство начинается с нарушения земельной угодий. Эти нарушения особенно впечатляющие в открытых разработках. Открытая добыча связана с формированием значительного по размерам отвального хозяйства. Так называемые пустые породы образуют отвалы, занимая значительные площади земель, в том числе и сельскохозяйственных, пахотных.

Процессы деградации почв. Эрозия – естественный процесс, существующий в природе, который протекает очень медленно, а поэтому разрушение и потери почвы от выдувания и смыва уравниваются процессами почвообразования. Эта естественная, или геологическая, эрозия является частью эволюции Земли. Наряду с этим нормальным геологическим процессом существует ускоренная, или разрушительная, эрозия, возникающая под влиянием деятельности людей. При этом процессы разрушения и сноса почвы происходят во много раз быстрее, чем при естественной эрозии. Потери почвы не компенсируются естественными почвообразовательными процессами, и почва частично или даже полностью теряет плодородие.

Загрязнение почв чужеродными химическими веществами наносит им большой ущерб. Для борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений и с сорняками широко применяют разнообразные ядохимикаты: пестициды, инсектициды, гербициды, дефолианты. Отрицательное влияние на почву оказывают отходы промышленных предприятий – металлургических заводов, выхлопные газы автотранспорта, шахтные воды, отходы нефтепромыслов.

Засоление почв связано с различными причинами. В результате избыточного полива в орошаемом земледелии происходит подъем уровня сильно минерализованных грунтовых вод. По капиллярам почвы они поднимаются в верхние слои, вызывая их вторичное засоление.

Заболачивание почв тесно связано с водным режимом территории и возможно при условии постоянного или длительного их переувлажнения. Часто процесс заболачивания развивается на участках, прилегающих к водохранилищам. Здесь резко повышается уровень грунтовых вод, и заболачивание охватывает значительные площади равнинных и пониженных территорий. Иногда заболачивание происходит в результате сплошной рубки леса в районах с избыточным увлажнением.

Прямое уничтожение почв – использование почв не по прямому назначению в последние годы приобретает угрожающие размеры.

Почвы занимают под промышленное и жилищное строительство, транспортные магистрали, заливают водой при строительстве водохранилищ. Огромные площади земель подвергаются нарушению при добыче полезных ископаемых, при лесоразработках, покрываются отходами промышленности, земли занимают под городские свалки.

Вырубка лесов началась на заре развития человечества и продолжается до настоящего времени. За последние 10 тыс. лет на земном шаре сведено 2/3 всех лесов. К настоящему времени в зоне смешанных и широколиственных лесов сведено до 50% от их первоначальной площади, в зоне средиземноморских субтропиков – 80%, муссонных лесов – 90%, а на Великой Китайской и Индо-Гангской равнинах от бывших лесов осталось менее 5%.

Сокращение водоносности рек и высыхание озер в связи с рубками лесов хорошо известны с давних пор. Сейчас обмеление рек и озер – широко распространенное явление во многих странах мира. Оно отрицательно сказывается на рыбных запасах и сельском хозяйстве. С истреблением лесов растет количество наводнений, увеличивается их мощность. Особенно часты они в Китае, на Индостане, в Северной и Южной Америке, Западной Европе. Вырубка лесов в горах приводит к возникновению катастрофических селевых потоков. Особенно тяжелым последствием вырубки лесов является эрозия почв, которая распространена на земном шаре повсеместно. Наконец, уничтожение лесов на обширных территориях ухудшает климат, делает его более сухим и континентальным, способствует аридизации территорий, быстрому опустыниванию, распространению суховеев.

Сокращение биоразнообразия. По данным Международного союза охраны природы (МСОП), с начала XVII в. и до настоящего времени на Земле вымерло 94 вида птиц и 63 вида млекопитающих. Это связано с прямым и косвенным воздействием человека. Прямое воздействие (преследование, истребление и переселение животных, сбор растений) испытывают, преимущественно, промысловые, декоративные виды. В результате численность их снижается, а отдельные виды исчезают. Косвенное влияние человека связано с изменением среды обитания при вырубке лесов, распашке степей, осушении болот, сооружении плотин, строительстве городов, селений, дорог, при изменении растительности в результате загрязнений атмосферы, воды, почвы и т. д. Это коренным образом меняет естественные природные ландшафты и условия жизни. Само существование человека как вида

сейчас уже находится под угрозой, и нет никаких гарантий, что он сумеет выжить в деградирующей экосистеме Земли.

Хотя не все экологи и специалисты разделяют пессимистические взгляды на будущее земной цивилизации, надежд на лучшее и убедительных аргументов в пользу противоположной точки зрения пока нет. Таким образом, вопрос заключается в том, сумеет ли человек прекратить разрушение природной среды, переломить существующие тенденции стихийного, неконтролируемого и продолжающегося увеличения потребления, остановить рост народонаселения и научиться регулировать его численность. Пока еще человечество не знает конструктивного и действенного способа реализации этих условий. Но нужно понимать, что от этого зависит наша глобальная экологическая безопасность.

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает экология? Приведите классификацию экологических наук.
2. К какой группе организмов условно можно отнести человека – стенобионтным или эврибионтным?
3. В чем отличие биогеоценоза от экосистемы?
4. Назовите консумента второго порядка в пищевой цепи:
клевер → полевка → сова → лисица → микроорганизмы.
5. В основе каких функций живого лежит процесс фотосинтеза?
6. Какие причины вызывают парниковый эффект? Каковы его возможные последствия?
7. В чем причины сокращения биоразнообразия? Какие меры необходимо предпринимать для решения этой проблемы?

ГЛАВА 11. ЧЕЛОВЕК И ЕГО МЕСТО В БИОСФЕРЕ

11.1. Положение человека в системе животного мира

Появление в процессе эмбрионального развития человека хорды, жаберных щелей в полости глотки, дорсальной полый нервной трубки, двусторонней симметрии в строении тела определяет принадлежность человек к *типу Хордовых*. Развитие позвоночного столба, сердца на брюшной стороне тела, наличие двух пар конечностей – к *подтипу Позвоночных*. Теплокровность, наличие волос свидетельствует о принадлежности человека к *классу Млекопитающих*, развитие детеныша внутри тела матери и питание плода через плаценту – к *подклассу Плацентарных*. Человек относится к *отряду Приматов*, о чем свидетельствуют такие признаки, как конечности хватательного типа, ногти на пальцах, хорошо развитые ключицы, способность кисти к пронации и супинации, обычно один детеныш. Принадлежность человека к *подотряду Настоящих обезьян* определяет наличие двух верхних и двух нижних резцов, трех и более бугров на коренных зубах, незамкнутых колец трахеи, простой матки у самок, гемохориальной плаценты, хорошее развитие мимической мускулатуры. О принадлежности к *надсемейству Человекообразных обезьян* свидетельствуют папиллярные узоры на пальцах, редукция хвостового отдела позвоночника, наличие аппендикса, большое число извилин головного мозга; к *семейству Гоминид, роду Ното* – объем мозга выше 900 см³, прямохождение, изгибы позвоночника, членораздельная речь, малый размер клыков и другие социобиологические признаки.

Человек относится к отряду Приматов, и эволюционная история человека есть часть филогенеза этой группы. Среди общих признаков приматов можно найти предпосылки для развития особенностей строения, физиологии и поведения человека. Приматов можно кратко охарактеризовать как группу лесных теплолюбивых плацентарных млекопитающих, приспособившихся к лазающему древесному образу жизни, сохранив достаточно примитивную основу организации. Примитивные черты в строении приматов проявляются в сохранении ими пятипалой конечности, опирающейся при ходьбе на всю ступню (плантиградность); в сохранении ключиц, которые утрачиваются при совершенствовании бега, в отсутствии специализации питания (большинство приматов всеядны и питаются как растительной, так и животной пищей). Сохранение некоторых примитивных признаков и отсутствие узкой специализации соответствующих органов способствовали высокой эволюционной пластичности приматов, проявив-

ших в ходе своего филогенеза способность адаптироваться к самым различным условиям существования и способам использования природных ресурсов.

Важнейшие особенности приматов связаны с развитием приспособлений к древесной лазающей жизни. Прежде всего это совершенствование хватательной способности конечностей, с которой связано приобретение возможности вращать кисть и предплечье вокруг их продольной оси (способность к пронации и супинации кисти, то есть к ее вращению ладонью вниз и вверх), а также развитие противопоставления больших пальцев всем остальным, облегчающего хватание. Эти приспособления значительно увеличили общую манипулятивную способность конечностей, то есть способность различным образом действовать с удерживаемым пальцами предметом.

Лазание по веткам требует хорошо развитого осязания – для исследования поверхности опоры. В связи с этим на концевых фалангах пальцев развились мясистые пальцевые подушечки, кожа которых богата осязательными тельцами и нервными окончаниями, а когти преобразовались в ногти с плоской и тонкой когтевой пластинкой, защищающей конец пальца лишь сверху. Но самую важную роль среди органов чувств при лазании приобретают глаза, поскольку прыжки с ветви на ветку требуют объемного (стереоскопического) зрения с точной оценкой расстояний и надежности опоры. Развитие стереоскопического зрения достигается перемещением глаз на переднюю (лицевую) поверхность головы, их сближением и все большим перекрыванием полей зрения. С другой стороны, на деревьях падает роль обоняния. Соответственно, орган обоняния у приматов подвергается некоторой редукции.

Чрезвычайно важные изменения, связанные с адаптацией к лазанию, произошли в центральной нервной системе. Передвижение по веткам представляет собой один из наиболее сложных способов локомоции, требующий точной оценки расстояний, качества опоры и соответствующей коррекции движений. Все это требует высокого совершенства функций центральной нервной системы как в анализе непрерывно меняющейся обстановки, так и в осуществлении тонкого мышечного контроля разнообразнейших оттенков движений и положения тела. При совершенствовании всех указанных функций естественный отбор благоприятствовал прогрессивному развитию головного мозга, особенно коры больших полушарий, в которой формируется сложная система борозд и извилин (у низших приматов кора имеет гладкую поверхность), а также мозжечка. Увеличение относительного и абсолютного размера головного мозга возможно только при со-

ответствующих изменениях пропорций черепа, в котором относительно увеличивалась мозговая коробка и уменьшался челюстной отдел.

Кочевая жизнь на деревьях, которую ведет большинство обезьян, не позволяет самкам иметь одновременно много детенышей, так как они, цепляясь за шерсть матери, сковывают ее движения. Поэтому отбор благоприятствовал тенденции к уменьшению числа детенышей у приматов до 1-2 на самку за одну беременность. Для компенсации малочисленности потомства у обезьян сформировались сложные формы родительского поведения, обеспечивающие длительный уход за детенышами и защиту их родителями. Результатом уменьшения числа детенышей была и редукция числа млечных желез до единственной грудной пары.

Очень важной характеристикой приматов является их общественный (стайный) образ жизни. Эффективная организация жизни стаи требовала развития особых (социальных) форм поведения. Наиболее жизнеспособными оказывались те стаи, в которых наследственно закреплялись такие формы поведения, которые обеспечивали снижение взаимной агрессивности и помощь более слабым животным в своей стае. Усложнение поведения в результате общественной жизни требовало, с одной стороны, дальнейшего совершенствования головного мозга, с другой – развития системы сигналов, которая позволяла бы передавать необходимую информацию между разными членами стаи.

Таким образом, давление отбора в направлении совершенствования высшей нервной деятельности, ориентации в пространстве, манипулятивных способностей конечностей и социального поведения, то есть в конечном итоге в направлении формирования важнейших особенностей человека, определялось спецификой организации и образа жизни приматов.

11.2. Происхождение и эволюция человека

Процесс эволюции человека разделяют на ряд стадий: 1) «предшественники людей», или протоантропы; 2) архантропы; 3) палеоантропы; 4) неоантропы.

Протоантропы представлены *австралопитеками* (рис. 21), существовавшими 6,5-1,0 млн. лет назад. Большое количество ископаемых остатков различных форм австралопитековых (австралопитек, парантроп, плезиантроп, зинджантроп) имеют возраст от 3,5-4 млн. лет и моложе. Многие антропологи полагают, что все эти формы являются видами одного рода *Australopithecus*.

Судя по строению таза и скелета задних конечностей, австралопитеки постоянно использовали двуногое передвижение, хотя оно было значительно менее совершенным, чем у современных людей. Средний объем мозговой коробки австралопитеков, однако, оставался близким к таковому человекообразных обезьян – в среднем 520 см^3 , достигая в отдельных случаях 650 см^3 . Вероятно, австралопитеки достаточно часто использовали мясную пищу, охотясь на различных животных с помощью камней и тяжелых костей крупных копытных. Размеры тела этих приматов были сравнительно невелики: по расчетам, длина их тела составляла 133-154 см при среднем весе 36-55 кг.



Рис. 21. Австралопитек афарский

Английским антропологом Луисом Лики в Восточной Африке, ущелье Олдовай в отложениях с возрастом 1-1,8 млн. лет были обнаружены ископаемые остатки антропоморфного примата, которому дали название «человек умелый» (*Homo habilis*). Вместе со скелетами «человека умелого» были найдены и примитивные каменные орудия, сделанные из грубо обколотых ударами галек кварца, кварцита, лавы, а также кости животных, часть из которых была расколота древними людьми, вероятно, для добывания костного мозга. По мнению Лики, эти орудия принадлежали примату, названному им «человек умелый». Данный вид многие антропологи рассматривают как прогрессивного австралопитека.

Архантропы. Первая из находок архантропов была сделана еще в 1891 г. Е. Дюбуа, обнаружившим на острове Ява ископаемые остатки существа, получившего название питекантроп. Первоначально

разные архантропы рассматривались как представители разных родов: *питекантропы* с Явы, *синантропы* из ряда местонахождений на территории Китая, *гейдельбергский человек* в Европе, *атлантропы* в Северной Африке и др. Ныне большинство ученых считают всех архантропов принадлежащими к одному виду *Homo erectus* – «человек выпрямленный». На этой стадии антропогенеза были сделаны важные шаги по пути морфофизиологического прогресса. Так, емкость мозговой коробки увеличилась до 1225 см³. Архантропы должны были обладать примитивной речью.

Однако все архантропы сохранили целый ряд примитивных признаков (рис. 22): очень покатый лоб, переходящий в низкий черепной свод; выступающий надглазничный валик; выступающие вперед челюсти; отсутствие подбородочного выступа. Архантропы питались и мясной, и растительной пищей, хотя первая в их рационе, вероятно, преобладала. Вместе с остатками некоторых архантропов были обнаружены каменные и костяные орудия, более совершенные, чем олдовайские. В пещере Чжоукоудянь были обнаружены следы костров. Многие найденные здесь же кости животных имели следы обжига.



Рис. 22. Реконструкция: питекантроп

Палеоантропы. Эта стадия представлена так называемыми *неандертальцами* (*Homo neanderthalensis*), видовое название которых связано с первой находкой ископаемых остатков этих людей в долине Неандерталь вблизи Дюссельдорфа. Неандертальцы появились около 300 тыс. лет назад и просуществовали до 35 тыс. лет назад. Объем мозговой коробки мужчин-неандертальцев в среднем составлял около 1550 см³, достигая 1600 см³. Несмотря на объемистую мозговую коробку, череп неандертальцев сохранял еще многие примитивные особенности: покатый лоб, низкий свод и затылок, массивный лицевой скелет со сплошным надглазничным валиком, подбородочный выступ был почти не выражен, сохранялись крупные зубы. Пропорции тела

палеоантропов были в целом близки к таковым современного человека (рис. 23). По сравнению с архантропами у палеоантропов усовершенствовалось строение кисти. Средний рост неандертальцев составлял 151-155 см. Неандертальцы хоронили своих умерших с погребальными обрядами, что позволяет предполагать у них наличие достаточно развитого абстрактного мышления.



Рис. 23. Реконструкция: неандерталец

Неоантропы. Стадия неоантропов соответствует человеку современного вида – *Homo sapiens* (*человек разумный*). Древнейших неоантропов традиционно называют *кроманьонцами*, по месту первой находки их ископаемых остатков в гроте Кроманьон, на территории Франции. Кроманьонцы уже вполне соответствовали антропологическому типу современного человека, отличаясь лишь незначительными особенностями (несколько менее высокий свод черепа, сильнее развитая зубная система и др.). Кроманьонцы известны начиная с 38-40 тыс. лет назад.

Средний объем черепно-мозговой полости у неоантропов составляет 1500 см^3 , то есть увеличение размеров головного мозга прекратилось после достижения стадии палеоантропов. Основные морфологические преобразования, происшедшие в процессе формирования неоантропов, выражаются в некоторых структурных изменениях головного мозга и черепа, особенно его лицевого отдела (относительное уменьшение челюстей, образование подбородочного выступа, редукция надглазничного валика и заглазничного сужения, увеличение высоты черепного свода и т. п.). Кроманьонцы были создателями культуры позднего палеолита, характеризующейся высоким совер-

шенством обработки камня и кости. Именно кроманьонцы были творцами пещерных рисунков, запечатлевших животных мамонтовой фауны, а также древнейших скульптурных изображений и первых музыкальных инструментов. Можно поэтому утверждать, что с неантропами возникает искусство.

Факторы эволюции человека. Дарвин показал, что основные факторы эволюции органического мира, то есть наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор, применимы и к эволюции человека. Но для объяснения антропогенеза недостаточно одних биологических закономерностей. На качественное своеобразие его указывают *социальные факторы*: труд, общественная жизнь, сознание и речь.

Трудовая деятельность являлась важнейшим фактором дальнейшей эволюции человека. Поскольку использование орудий при высокоразвитой социальности, начинавшей формироваться еще у низших антропоидов, давало человеку огромные преимущества и позволяло осваивать новые местообитания и новые природные ресурсы, естественный отбор благоприятствовал таким изменениям организации древних людей, которые способствовали совершенствованию трудовой деятельности и социального поведения. Это были в первую очередь прогрессивные изменения структуры и массы головного мозга, а также мускулатуры и скелета передних конечностей, с развитием механизмов тонкой нервной координации движений.

Отбор благоприятствовал развитию у людей таких форм поведения, которые облегчали их общение в процессе трудовой деятельности, а также в организации совместных охот или защиты от нападений хищников. В связи с этим совершенствовались способы обмена информацией, в частности система звуковой сигнализации, развитие которой привело к формированию *членораздельной речи*, а на ее основе – *второй сигнальной системы*, сыгравшей столь огромную роль в развитии человеческого интеллекта и культуры.

Сообщества древних людей подвергались групповому отбору, благоприятствовавшему сохранению тех коллективов, в которых преобладали более развитые в социальном отношении индивиды. Это выражалось в совершенствовании тормозных механизмов мозга, позволявших снизить взаимную агрессивность, а также в развитии свойств, способствовавших обогащению знаний на основе своего и чужого опыта.

Важнейшей чертой человеческого общества является наличие *фонда социальной* или культурной *информации*, биологически ненаследуемой и передающейся от поколения к поколению посредством обучения (а на более поздних этапах развития общества кодируемой письменно) и в форме созданных предыдущими поколениями орудий труда и других материальных и культурных ценностей. Рост и развитие этого социального фонда (или фонда материальной культуры) постепенно уменьшает зависимость человеческого общества от природы. Это не могло не привести к существенным изменениям самого характера эволюционных преобразований человека. Для любой человеческой популяции фонд материальной культуры, накопленный предшествовавшими поколениями, является, в сущности, важнейшей частью среды ее обитания. Естественный отбор приспособлял человеческие коллективы к этой их специфической среде – отбор в пользу индивидов, более способных к обучению и трудовой деятельности, и групповой отбор в пользу коллективов, в которых преобладали индивиды с более развитым социальным поведением.

11.3. Учение В. И. Вернадского о ноосфере

Огромное влияние человека на природу и масштабные последствия его деятельности послужили основой для создания *учения о ноосфере*. Термин «ноосфера» (гр. *noos* – разум) переводится буквально как сфера разума. Впервые его ввел в научный оборот в 1927 г. французский ученый Э. Леруа. Вместе с *Тейяром де Шарденом* он рассматривал ноосферу как некое идеальное образование, внебиосферную оболочку мысли, окружающую Землю.

Ряд ученых предлагает употреблять вместо понятия «ноосфера» другие понятия: «техносфера», «антропосфера», «психосфера», «социосфера» или использовать их в качестве синонимов. Подобный подход представляется весьма спорным, так как между перечисленными понятиями и понятием «ноосфера» есть определенная разница.

Следует также отметить, что учение о ноосфере не носит пока законченного канонического характера, которое можно было бы принимать как некое безусловное руководство к действию. Учение о ноосфере было сформулировано в трудах *В. И. Вернадского*. В его работах можно встретить разные определения и представления о ноосфере, которые к тому же менялись на протяжении жизни ученого. Вернадский начал развивать данную концепцию с начала 1930-х гг. после детальной разработки учения о биосфере. Осознавая огромную роль и

значение человека в жизни и преобразовании планеты, В. И. Вернадский употребляет понятие «ноосфера» в разных смыслах: 1) как состояние планеты, когда человек становится крупнейшей преобразующей геологической силой; 2) как область активного проявления научной мысли; 3) как главный фактор перестройки и изменения биосферы.

Очень важным в учении В. И. Вернадского о ноосфере было то, что он впервые осознал и попытался осуществить синтез естественных и общественных наук при изучении проблем глобальной деятельности человека, активно перестраивающего окружающую среду. По его мнению, ноосфера есть уже качественно иная, высшая стадия биосферы, связанная с коренным преобразованием не только природы, но и самого человека. Это не просто сфера приложения знаний человека при высоком уровне техники. Для этого достаточно понятия «техносферы». Речь идет о таком этапе в жизни человечества, когда преобразующая деятельность человека будет основываться на строго научном и действительно разумном понимании всех происходящих процессов и обязательно сочетаться с интересами природы.

В настоящее время под ноосферой понимается сфера взаимодействия человека и природы, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным определяющим фактором развития. В структуре ноосферы можно выделить в качестве составляющих человечество, общественные системы, совокупность научных знаний, сумму техники и технологий в единстве с биосферой. Гармоничная взаимосвязь всех составляющих структуры есть основа устойчивого существования и развития ноосферы.

Говоря об эволюционном развитии мира, его переходе в ноосферу, основатели этого учения расходились в понимании сущности данного процесса. Тейяр де Шарден говорил о постепенном переходе биосферы в ноосферу, то есть «в сферу разума, эволюция которой подчиняется разуму и воле человека», путем постепенного сглаживания трудностей между человеком и природой.

У В. И. Вернадского мы встречаем иной подход. В его учении о биосфере живое вещество преобразует верхнюю оболочку Земли. Постепенно вмешательство человека все увеличивается, человечество становится основной планетарной геологообразующей силой. Поэтому (стержень учения Вернадского о ноосфере) человек несет прямую ответственность за эволюцию планеты. Понимание им данного тезиса

необходимо и для его собственного выживания. Стихийность же развития сделает биосферу непригодной для обитания людей. В связи с этим человеку следует соизмерять свои потребности с возможностями биосферы. Воздействие на нее должно быть дозировано разумом в ходе эволюции биосферы и общества. Постепенно биосфера преобразуется в ноосферу, где ее развитие приобретает направляемый характер.

В этом и заключаются непростой характер эволюции природы, биосферы, а также сложности появления ноосферы, определения роли и места в ней человека. В. И. Вернадский неоднократно подчеркивал, что человечество лишь вступает в данное состояние. И сегодня говорить об устойчивой разумной деятельности человека (то есть о том, что мы уже достигли состояния ноосферы) нет достаточных оснований. Так будет по крайней мере до тех пор, пока человечество не решит глобальных проблем планеты, в том числе экологическую. О ноосфере правильнее говорить как о том идеале, к которому следует стремиться человеку.

Вопросы для самоконтроля

1. К какому виду относится человек современного типа?
2. Какие анатомо-физиологические особенности приматов предопределили развитие гоминидных черт?
3. Назовите стадии антропогенеза и представителей каждой стадии.
4. В чем проявляется прогрессивность и примитивность черт организации архантропов?
5. Назовите социальные факторы антропогенеза. Раскройте их значение в эволюции человека.
6. Что понимают под термином «ноосфера»? Какие предпосылки необходимы для ее формирования?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бухбиндер, И. Л. Фундаментальные взаимодействия / И. Л. Бухбиндер // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 5. – С. 66-73.
2. Васильев, А. Н. Эволюция Вселенной / А. Н. Васильев // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 2. – С. 82-88.
3. Вегенер, А. Происхождение континентов и океанов / А. Вегенер. – Л. : Наука, 1984. – 285 с.
4. Горелов, А. А. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / А. А. Горелов. – М. : Центр, 2002. – 208 с. – ISBN 5-88860-043-1.
5. Гусейханов, М. Х. Антропный космологический принцип / М. Х. Гусейханов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 6. – С. 57-64.
6. Делоне, Н. Б. Изменение фундаментальных законов естествознания / Н. Б. Делоне // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 6. – С. 56-62.
7. Дубнищева, Т. Я. Современное естествознание : учеб. пособие / Т. Я. Дубнищева, А. Ю. Пигарев. – М. : ИВЦ «Маркетинг» ; Новосибирск : ООО «Изд-во ЮКЭА», 2000. – 160 с. – ISBN 5-7856-0143-5.
8. Иорданский, Н. Н. Эволюция жизни : учеб. пособие для студ. пед. вузов / Н. Н. Иорданский. – М. : Издательский центр «Академия», 2001. – 432 с. – ISBN 5-7695-0537-0.
9. Карпенков, С. Х. Концепции современного естествознания : учебник / С. Х. Карпенков. – 2-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 334 с. – ISBN 5-06-003946-3.
10. Концепции современного естествознания / под ред. С. И. Самыгина. – 3-е изд. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2001. – 576 с. – ISBN 5-222-01668-4.
11. Концепции современного естествознания : учеб. для вузов / под ред. В. Н. Лавриненко, В. П. Ратникова, Г. В. Баранова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 303 с. – ISBN 5-238-00111-8.
12. Найдыш, В. М. Концепции современного естествознания : учеб. пособие / В. М. Найдыш. – М.: Гардарики, 2001. – 476 с. – ISBN 5-8297-0001-8.

13. Никаноров, А. М. Глобальная экология : учеб. пособие / А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. – М. : Изд-во ПРИОР, 2001. – 285 с. – ISBN 57990-0433-7.
14. Никонова, М. А. Землеведение и краеведение : учеб. пос. для студ. пед. вузов / М. А. Никонова, П. А. Данилов. – 2-е изд, стереот. – М. : Академия, 2002. – 240 с. – ISBN 5-7695-0441-2.
15. Ратобыльский, Н. С. Землеведение и краеведение : учеб. пособие / Н. С. Ратобыльский. – 2-е изд., перер. и доп. – Мн. : Изд-во «Университетское», 1987. – 414 с.
16. Рузавин, Г. А. Концепции современного естествознания : курс лекций / Г. А. Рузавин. – М. : Проект, 2002. – 336 с. – ISBN 5-901660-13-7.
17. Славатинский, С. А. Фундаментальные частицы / С. А. Славатинский // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 2. – С. 62-68.
18. Современное естествознание : энциклопедия : в 10 т. Т. 2. Общая биология / науч. ред. Л. И. Корочкин, О. Н. Кулаева, Е. Я. Тетушкин. – М. : МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – 344 с. – ISBN 5-89317-134-9.
19. Современное естествознание : энциклопедия : в 10 т. Т. 6. Общая химия / науч. ред. А. А. Берлин, Г. В. Лисичкин, Д. А. Леменовский. – М. : МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – 320 с. – ISBN 5-89317-138-1.
20. Современное естествознание : энциклопедия : в 10 т. Т. 9. Наука о Земле / науч. ред. В. А. Королев, В. С. Попов, В. Н. Соколов. – М. : МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – 368 с. – ISBN 5-89317-141-1.
21. Солопов, Е. Ф. Концепции современного естествознания : учеб. пос. для вузов / Е. Ф. Солопов. – М. : ВЛАДОС, 1999. – 232 с. – ISBN 5-691-00185-X.
22. Трофимов, Г. А. Концепции современного естествознания : словарь терминов и определений / Г. А. Трофимов. – СПб. : Изд-во СПбУЭФ, 1997. – 126 с. – ISBN 5-7310-0696-2.
23. Яблоков, А. В. Эволюционное учение : учеб. для биол. спец. вузов / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. – 6-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2006. – 310 с. – ISBN 5-06-004584-6.
24. Ясаманов, Н. А. Основы геоэкологии : учеб пособие для эколог. спец. вузов / Н. А. Ясаманов. – М. : Академия, 2003. – 352 с. – ISBN 5-7695-1043-9.

Учебное издание

Ольга Анваровна Саблина

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Редактор
Е. В. Кондаева

Корректор
К. А. Писаренко

Технический редактор
Г. А. Чумак

Подписано в печать 14.07.2008 г.
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. 10,6.
Тираж 50 экз. Заказ _____.

**Издательство Орского гуманитарно-технологического института
(филиала) Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»**

462403, г. Орск Оренбургской обл., пр. Мира, 15 А